

Разработка технологии повышения прочностных характеристик формовочных смесей с использованием базальтового волокна и применение волокна для упрочнения сырых песочно-глинистых форм.

Введение.

Глава 1. Развитие производства отливок в песчанно-глинистых формах.

1.1 Рост производства отливок в разовых формах.

1.2 Основные требования к формовочным смесям.

Глава 2. Исследование технологического процесса использования в формовочных смесях базальтового волокна.

2.1 Характеристика и свойства базальта как минерально-сырьевого материала в литейном производстве.

2.2 Разработка математической модели свойств и оптимизация составов формовочных смесей.

Глава 3. Технология повышений прочности песчанно-глинистых смесей с добавлением базальтовых волокон.

3.1 Оптимизация свойств формовочных смесей и их тестирование.

3.2 Анализ прочности формовочных смесей при добавлении базальтового волокна.

Заключение.

Литература.

Приложения.

Введение

В трудах И.Каримова и в выступлениях президента Узбекистана М.Ш.Мирзияева. исключительное внимание уделяется развитию автостроения в системе железнодорожного машиностроения, горно-металлургического оборудования и других литейных производства, которые является основной заготовительной базой машиностроения. На долю литых заготовок приходится более 50% всех деталей машин. В связи с этим в Узбекистане запущены новые современные литейные мощности как завод GM, Литейно-механический и другие.

Задачей литейной производства является изготовления из металлов и металлических сплавов из долей отливок, имеющих разнообразные очертания и предназначенных для использования в различных целях.

Сущность литейного производства сводится к получению жидкого металла, т.е. нагретого выше температуры плавления, сплава нужного состава и необходимого качества и заливке его в заранее приготовленную форму. Формы можно изготавливать различными способами и из различных материалов. Формы изготавливают из специальной поддающейся уплотнению формовочной смеси, состоящей в основном из песка и глины. Около 80% общего количество отливок изготавливают в песчано-глинистых формах. Повышение точности и прочности разовых форм является первостепенной задачей.

Формовочные и стержневые смеси, как строительный материал для форм и стержней, должны обладать комплексом заранее заданных свойств. Комплекс этих свойств и их количественные характеристики определяются следующими основными факторами:

- 1) принятой технологией изготовления форм (стержней);
- 2) условиями «работы» форм (стержней) на всех этапах технологического процесса;
- 3) нормы санитарии и гигиены;
- 4) экономическими соображениями.

Существующие технологические процессы изготовления форм (стержней) основаны на использовании трех типов смесей: пластично-вязких, сыпучих и жидких. Для смесей каждого типа наряду с общими свойствами характерны свои технологические свойства, подлежащие контролю. Одним из путей повышения их прочности является добавления в смеси различных добавок улучшающих их свойства. Добавления в формовочные смеси базальтовых волокон, исследование свойств при их добавлении, количество добавляемых волокон, изменение прочностных характеристик напольный перечень задач, решаемых в нашей работе. Теме это является актуальной для нашего региона иметь большое и практическое значение для производства объектами исследования в магистерской диссертации является формовочные и стержневые смеси. Предметом исследования является базальтовое волокно, формовочные смеси, пески, глины и другие материалы для форм. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списке литературных источников.

Глава 1. Развитие производства отливок в песчанно-глинистых формах.

1.1 Рост производства отливок в разовых формах.

Основные термины процессов литейного производства установлены ГОСТ 18169-72, содержащим весьма четкие и логичные их определения.

К сожалению, в литейном производстве исторически сложилось, что слово «форма» имеет два значения. С одной стороны, это целостная система элементов, а с другой — это один из ее элементов. Если строго следовать ГОСТу, то собранную форму как систему следует называть литейной формой. Тогда форму как элемент можно называть просто формой.

Итак, согласно ГОСТу, литейная форма есть «система элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка». Элементы, образующие рабочую полость, изготавливают по отдельности, и при сборке они составляют литейную форму. Ниже приведены элементы формы.

Основные части формы. Они образуют те поверхности рабочей полости, которые оформляют преимущественно внешние поверхности отливки. Внешние боковые поверхности частей формы образуются опокой либо стенками кессона. В первом случае с частью формы можно производить сборочные, транспортные или иные манипуляции; во втором случае соответствующая часть формы неподвижна. Если формовка производится в двух опоках, то при заливке их называют верхней и нижней полуформами. В тех случаях, когда после изготовления части формы опока снимается, а при заливке для прочности заменяется кожухом, формовку называют безопочной. Поверхность соприкосновения двух полуформ называют разъемом (иногда ладом).

Литейные стержни образуют те поверхности рабочей полости, которые оформляют преимущественно внутренние поверхности отливки, создавая в них полости и углубления. Сборочные и транспортные

операции со стержнями выполняются с помощью знаков. Знаки представляют собой выступы на стержнях, вставляемые при сборке в соответствующие углубления форм.

Холодильники, создающие условия для ускоренного охлаждения отдельных частей отливки.

Жеребейки, обеспечивающие правильное положение стержней в формах.

подавляющее большинство неметаллических материалов, из которых изготавливаются литейные формы, являются дисперсными системами, основу которых образуют зерна огнеупорных соединений, чаще всего кварца. Такие системы называют формовочными материалами. различают исходные формовочные материалы и приготовляемые из них формовочные смеси, подразделяемые на собственно формовочные смеси у стержневые смеси. В составе формовочных смесей выделяют огнеупорную зерновую основу; связующие добавки, обволакивающие поверхность зерен и обеспечивающие превращение дисперсной смеси в монолит, и технологические добавки, обеспечивающие требуемый уровень технологических свойств смеси. Формовочную и стержневую смеси, использованные в технологическом процессе получения отливки и освобождающиеся после ее охлаждения, называют отработанной смесью.

Для образования поверхностей литейной формы служит модельно-опочная оснастка. опоки представляют собой ящики без дна и крышки, в которых и потопляется верхняя и нижняя полуформы; опоки оформляет наружные боковые поверхности форм. Они имеют приспособления для транспортировки и сборки полуформ. Модели служат для получения рабочих поверхностей полостей форм, а стержневые ящики - для получения стержней. Стержневые ящики имеют вид сосудов, в которых стержневая смесь приобретает заданную конфигурацию и размеры.

Процесс изготовления литейных форм и стержней (с помощью модельно-опочной оснастки) из формовочных и стержневых смесей

называют формовкой. Формовка означает не только уплотнение формовочной смеси, в нее входит также заполнение рабочей полости формы смесью, удаление оснастки и сборка формы, т. е. установка и закрепление стержней, установка частей литейной формы друг на друга, их скрепление между собой и загрузка. Приготовление формовочных смесей, получение литейных форм, упрочнение смесей, взаимодействие форм с отливками при их формировании в совокупности называют формовочными процессами.

При изготовлении литейной формы встречаются три вида поверхностей модели, формы и отливки. На рис. 1.1 изображены схемы расположения поверхностей модельного комплекта и формы. Форма (рис. 1.1, а) представлена с заформованной половиной модели 3, лежащей на модельной плите 1 в опоке 2. Стержень (рис. 1.1, б) находится в стержневом ящике 7. Рабочая поверхность литейной формы 4 выделена жирной линией; именно по этой поверхности форма после заливки вступит в контакт с отливкой. Поверхности, по которым элементы литейной формы соприкасаются друг с другом, можно назвать технологическими — это поверхности разъема частей формы 6 и знаковые поверхности 5.

После сборки литейной формы производится ее заливка жидким расплавом.

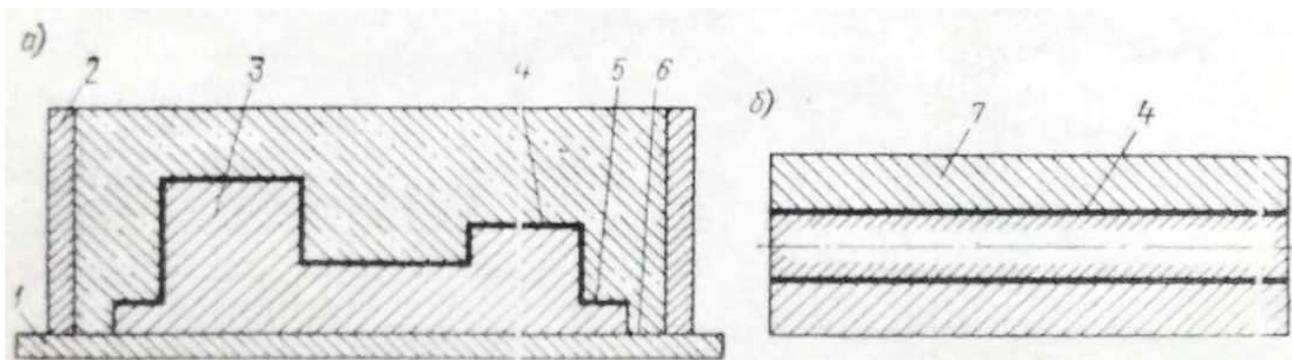


Рис. 1.1. Расположение рабочие и технологических поверхностей в модели и форме (а), стержневом ящике и стержне (б)

Параметры материалов и процессов можно разбить на следующие категории: 1) разновидности основ формовочных материалов и

разновидности связующих добавок к дисперсным основам формовочных смесей; 2) типы модельно-опочной оснастки, применяемой для изготовления элементов литейных форм из дисперсных материалов; 3) способы уплотнения дисперсных формовочных смесей и сборка литейных форм; 4) способы заполнения литейных форм жидким расплавом.

Материалы для изготовления форм должны соответствовать общим требованиям: 1) способность выдерживать контакт с жидкими литейными сплавами без расплавления или разрушения; 2) дешевизна, доступность, большие запасы, наличие источников в исходных материалах вблизи потребителей; 3) отсутствие токсичности и неприятных запахов как при нормальных температурах при изготовлении форм, так и при нагревании, связанном с заливкой. [1]

Ниже приведена классификация материалов форм по их природе.

Сплошные твердые. Типичный представитель — металлический сплав.

Дисперсные сыпучие. Типичный представитель — песок (дробь). Это наиболее распространенный тип формовочных материалов. Их засыпают в опоку, уплотняют тем или иным способом под действием определенных усилий.

Дисперсные пластичные. Типичный и практически единственный представитель — глина. В настоящее время они как основа формовочной смеси почти не применяются. Этот тип материалов не уплотняется, а намазывается на ту или иную подложку.

Дисперсные текучие. Типичный представитель — жидкостекольная смесь с вспенивающейся добавкой. Они обычно не уплотняются, но затвердевают в результате коллоидно-химических процессов. В опоку они вводятся путем наливания.

Формы из дисперсных материалов — разовые — служат только для одной заливки, а после получения отливки разрушаются. Формы из

сплошных материалов — многократные — позволяют получить без разрушения большое число отливок.[2]

Неограниченная среда, заполненная газом или вакуумом. Форма отсутствует и не требуется. Отливки в этом случае могут получаться либо очень маленьких размеров, либо любых размеров в космосе. Фактором формообразования служат силы поверхностного натяжения сплава. Отливки получают сферической формы. Сюда относится плавка во взвешенном состоянии; «формой» для отливки служит электромагнитное поле.

Зерновые огнеупорные основы дисперсных формовочных смесей кроме вышеперечисленных общих требований должны удовлетворять ряду частных условий: огнеупорность — достаточно высокая температура плавления и по возможности слабое взаимодействие с оксидами компонентов сплава, т. е. минимальная склонность к образованию пригара; однородность и сравнительно высокая крупность зерен; теплопроводность, желательно, чтобы она была повышенной; это ускорит затвердевание отливки; пластичность или текучесть — способность легко заполнять все детали оснастки и давать их хороший отпечаток; хорошая выбиваемость после заливки, зависящая от сочетания свойств зерновой основы и связующей добавки; отсутствие склонности к комкуемости при выдержке в бункерах.

Будем считать химическую природу исходных материалов первым классификационным признаком дисперсных формовочных смесей. Ниже дана их классификация по этому признаку.

Кварцевый песок. Главной составляющей кварцевого песка является минерал — кварц, или кремнезем SiO_2 . Достаточно распространенный и дешевый природный продукт. Представляет собой рыхлую, осадочную горную породу. Принято, что границей между песком и глиной служит размер частиц 22 мкм; более крупные частицы считаются

песком, более мелкие — глиной. При содержании в породе менее 50% глины называют леском.

Формовочные пески делятся на природные (необогащенные) и обогащенные. Необогащенные формовочные Пески в зависимости от массового содержания глинистой составляющей подразделяют на:

| % | |
|-----------------|-----------------|
| Кварцевые К |Не более 2 |
| Тощие Т |От 2 до 10 |
| Полужирные П |» 10 » 20 |
| Жирные Ж |» 20 » 30 |
| Очень жирные ОЖ |» 30 » 50 |

Обогащенные пески содержат глинистую составляющую от 1,0 до 0,2 % и SiO₂ от 97 до 85,5 % при пониженной концентрации вредных примесей.

2. Глина. Формовку можно производить полностью в огнеупорной глине. Основой глины чаще всего является каолинит, который представляет собой весьма измельченную горную породу, включающую, SiO₂ и H₂O. По размерам глинистые частицы разделяют на грубодисперсные от 0,022 до 0,005 мкм, мелкодисперсные от 0,005 до 0,001 мкм и коллоидные менее 0,001 мкм. Для изготовления форм используют каолинитовые глины, остальные типы глин только как связующие добавки.

На втором месте по значимости после зерновой основы стоят связующие добавки. Для проявления своего действия связующая добавка должна первоначально находиться в жидком состоянии, затем образовать на поверхности зерен основы пленку, далее при уплотнении создать вокруг точек контакта между зёрнами манжеты и наконец перейти в

твердое состояние, превратив сыпучую смесь в монолитную среду. На рис. 1.2 представлены схематично строения формовочной смеси (а) и манжеты, связывающей смежные зерна(б) [3]

Изучение прочностных свойств формовочных смесей должно основываться прежде всего на исследовании адгезии и когезии связующих материалов). Адгезия есть прилипание двух конденсированных тел на границах раздела фаз.

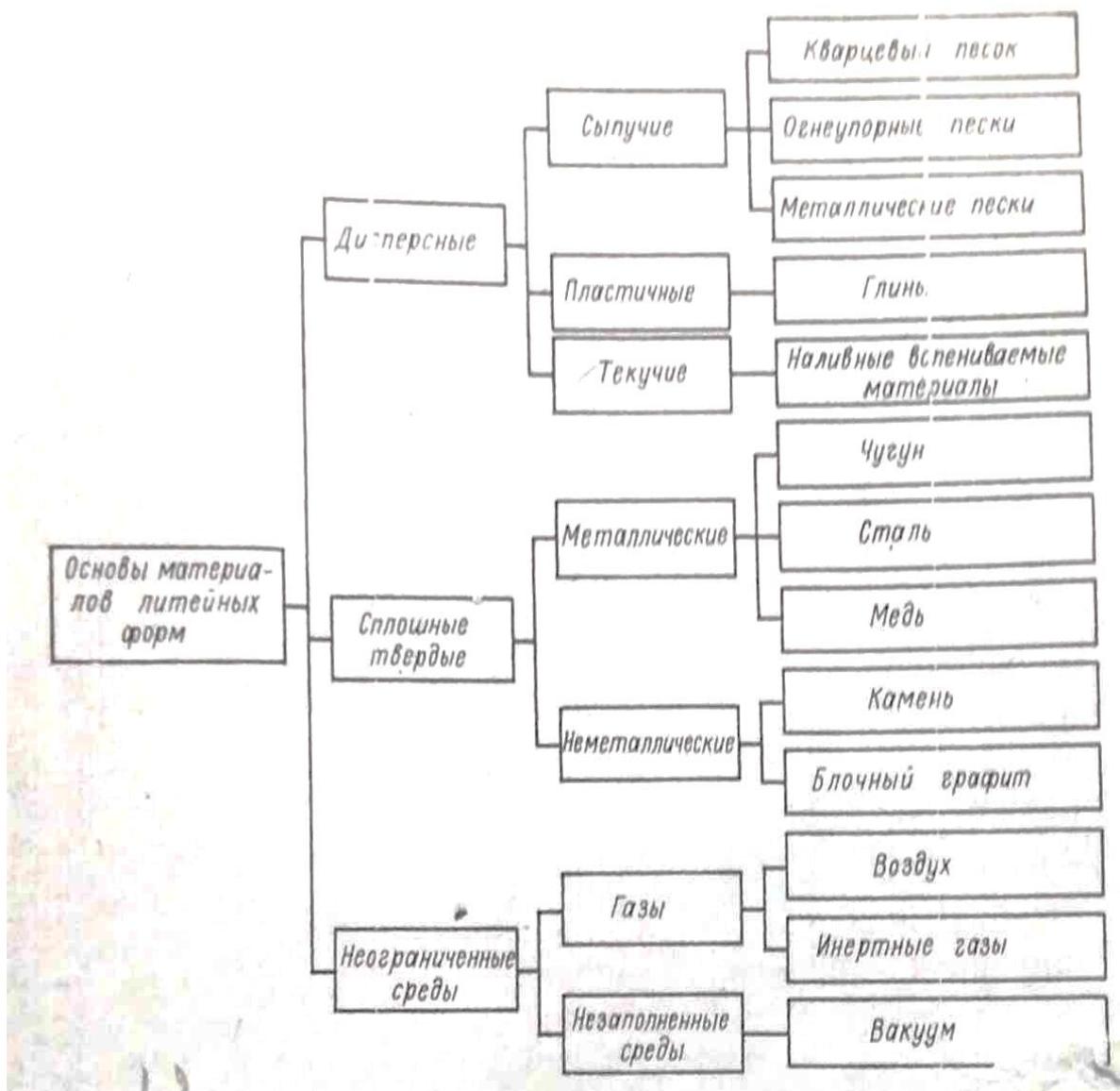


Рис. 1.2. Классификация основ материалов литейных форм.

Когезия есть прочность тела, вступившего в контакт, т. е. материала жидкой или затвердевшей пленки. Прочность когезии тем выше, чем

тоньше пленка приставшего вещества. Разрушение формовочной смеси может происходить тремя путями: если силы когезии превышают силы адгезии, происходит отрыв пленки от зерна; если силы адгезии превышают силы когезии, происходит разрыв пленки связующего; если силы адгезии и когезии соизмеримы, разрыв происходит частично по пленке, частично путем отрыва пленки от зерна.

Формовочная смесь должна обладать достаточной прочностью после уплотнения, необходимой для обеспечения операций сборки и транспортировки. Рассмотрим основные типы связующих добавок в дисперсных формовочных смесях.

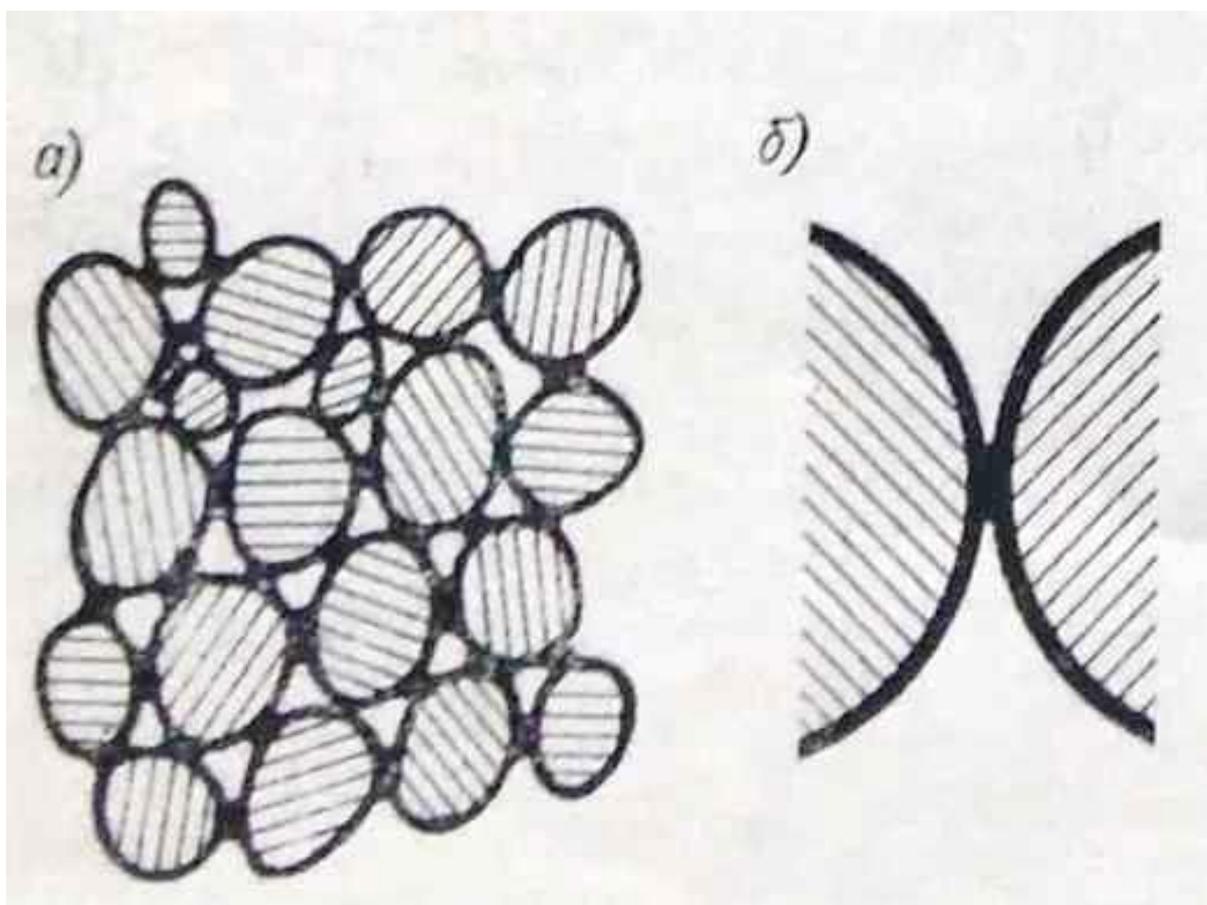


Рис. 1.3 Структура дисперсной формовочной смеси (а) и манжеты между смежными зёрнами (б)

Добавка вводится в смесь в пластичном состоянии, упрочнению не подвергается. Типичным представителем класса является сырая песчано-

глинистая формовочная смесь. Она уплотняется в рабочем пространстве формы. При этом глинистые оболочки деформируются, образуя контактные связи—манжеты—между зернами. Прочность такого монолита невелика, но достаточна для применения его в качестве элементов формы. Сырые песчано-глинистые формы являются наиболее распространенными в современном литейном производстве. В них изготавливается около 55 % отливок.

Добавки, упрочняемые путем удаления растворителя — высушивания. Типичным представителем класса является сухая песчано-глинистая смесь. Глина обеспечивает пластичность формовочной смеси и способность давать хороший отпечаток модели. Особенно хорошими связующими свойствами обладают монтмориллонитовые глины. В формах из сухих песчано-глинистых смесей изготавливается около 15 % отливок.

В тех случаях, когда песчано-глинистые смеси даже в высушенном виде не обеспечивают необходимой прочности, приходится прибегать к более сильным связующим добавкам: декстрин, пектиновый клей, барда сульфитного щелока и др.

Добавки, проявляющие упрочняющее действие после плавления и затвердевания. Они могут смешиваться с зернистой основой смеси в виде твердых порошков; затем смесь нагревается, добавки расплавляются и обволакивают зерна пленками; после охлаждения добавки затвердевают и превращают смесь в монолит. Прочность смесей с такими добавками до нагревания отсутствует.

Добавки, вызывающие твердение в результате химических процессов. Компоненты этих добавок вступают в реакции, приводящие к образованию новых химических соединений, кристаллизующихся с участием воды и устанавливающих механические связи с частицами зернистой основы и между собой. Типичными представителями таких связующих являются цементы и гипс.

Жидкостекольные смеси (в особенности для изготовления стержней), относящиеся к этой же категории, получили за последние годы широкое применение. Для обеспечения самоотвердения в смесь добавляют феррохромовый шлак, нефелиновый шлак, жидкие отвердители и др. Для вспенивания смеси и придания ей текучести вводятся поверхностно-активные вещества. Жидкостекольные смеси твердеют в оснастке, не требуя нагрева, дешевы. Их крупными недостатками являются плохая выживаемость и сложность регенерации.

Добавка, представляющая собой тот или иной вид масла, которое подвергается окислению и полимеризации при нагреве. Смесь со связующей добавкой уплотняется в рабочем пространстве оснастки, но получает при этом весьма низкую в сыром состоянии прочность. Даже при очень небольшом количестве добавки нагрев придает такой смеси высокую прочность. После контакта с жидким сплавом масло выгорает, а песок, становясь сыпучим, легко освобождается я отливки. Вместо растительных масел применяют различные заменители, изготавливаемые из минеральных продуктов: петролатум, растворенный в уайт-спирите и различные комбинированные связующие на его основе.

Термореактивные смоль. Первым представителем такой явился бакелит. Широкую популярность приобрели изготовленные на бакелите оболочковые формы.

Самотвердеющие связующие добавки на основе синтетических смол, упрочняющиеся под действием катализаторов за заданные промежутки времени. Смеси изготавливаются на основе разнообразных синтетических смол: фурановых, фенолоформальдегидных, карбамидных и др. Могут уплотняться в оснастке под действием усилий или заливаться во вспененном состоянии. В последнем случае для повышения плотности подвергаются воздействию вибрации. Твердение таких смесей происходит прямо в оснастке без нагрева.

Добавки, проявляющие свое действие при обжиге в результате спекания или керамизации. Типичным примером изготовления керамических форм является технология, основанная на использовании этилсиликата. Этот процесс применяется при изготовлении форм по выплавляемым моделям, другой его разновидностью является шоу-процесс. По выплавляемым моделям изготавливают отливок около 0,6 %.

Смеси без связующего, состоящие только из сыпучей зерновой составляющей. Для превращения таких смесей в монолит требуются непрерывно действующие внешние силы. С этой целью используют пленочно-вакуумную и электромагнитную формовку.[4]

На рис. 1.3 показана классификация способов обеспечения прочности дисперсных формовочных смесей.

Смеси для получения форм, соприкасающихся с отливкой только одной поверхностью, находятся в сравнительно более благоприятных условиях. К их газопроницаемости, податливости, рабочей прочности предъявляются не самые высокие требования.

Смеси для изготовления стержней, соприкасающихся с отливкой в некоторых сечениях всеми своими поверхностями, находящимися в трудных условиях, необходимо получать из компонентов с самыми высокими характеристиками. От них требуется высокая жаростойкость, прочность, податливость и газопроницаемость. Стержни, как правило, изготавливаются из сухих смесей ХТС и др.; подвергаются гораздо более высоким механическим нагрузкам. В отличие от форм стержни не защищены опоками.

При ручной формовке имеется возможность применять различные смеси для облицовочного и наполнительного слоев формы. При машинной формовке, как правило, применяются единые смеси, имеющие промежуточные характеристики этих смесей. При выборе состава формовочных смесей следует учитывать следующие тенденции:

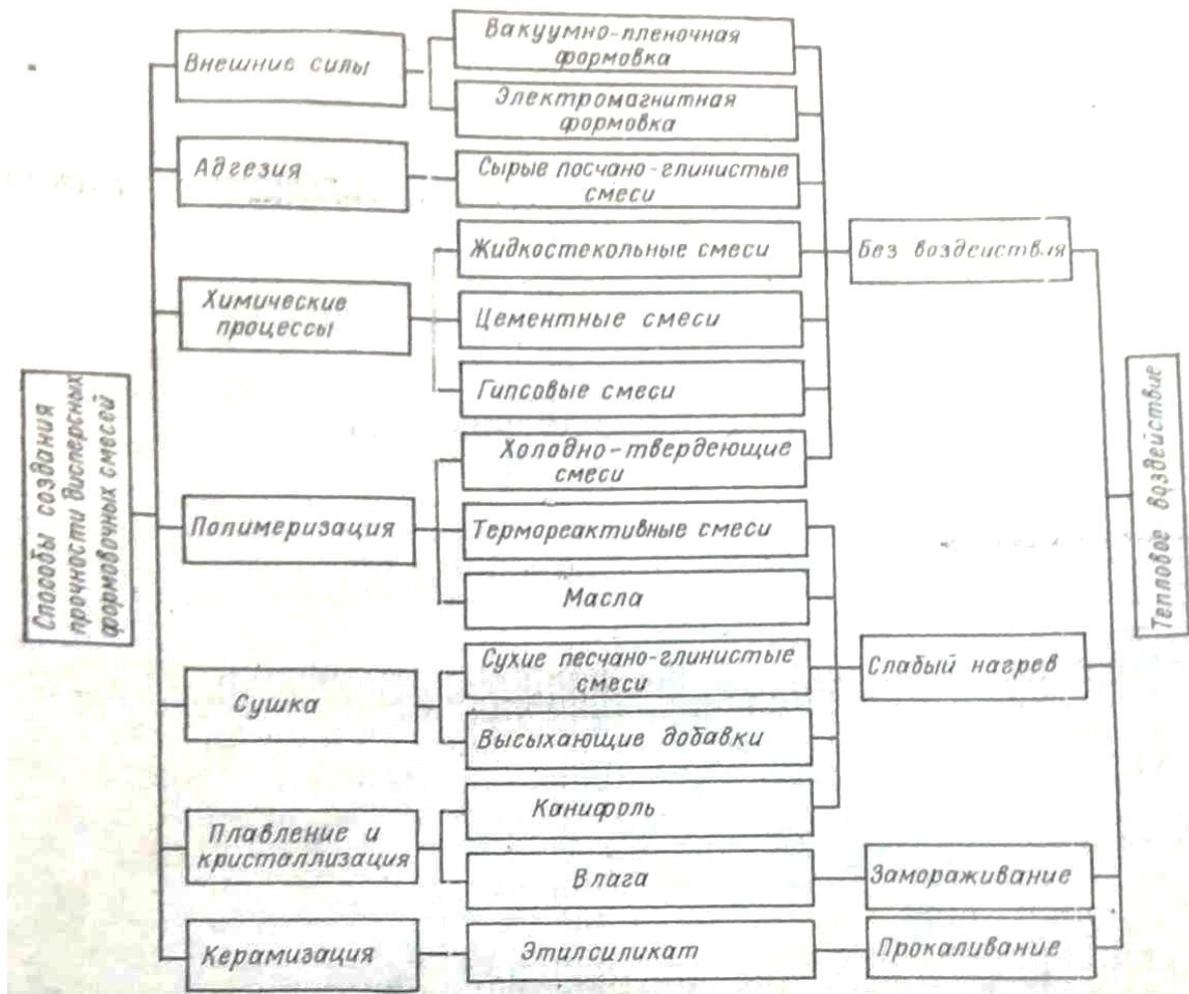


Рис. 1.4 Классификация способов создания прочности дисперсных формовочных смесей.

формовочный песок, используемый в освежающих добавках для стальных отливок, применяется наиболее крупный, для чугунных он может быть мельче и для отливок из цветных сплавов — самый мелкий;

наибольшее количество оборотной смеси вводится в смеси для изготовления отливок из цветных сплавов, меньшее — для чугунных и еще меньшее — для стальных;

наименьшее количество глины в освежающих добавках вводится в смеси для стальных отливок и наибольшее — для отливок из цветных сплавов;

влажность несколько понижается в смесях для отливок из цветных сплавов, увеличивается для стальных и достигает максимума для чугунных.

В стержневых смесях обратная смесь, как правило, не применяется, пески средней крупности или крупные, содержание глины минимальное. Кроме того, при изготовлении стержней применяют связующие добавки, обеспечивающие высокую прочность.

Исходная влажность смесей для сухих форм обычно в 1,5—2 раза выше, чем сырых. В формовочных смесях для изготовления крупных отливок уменьшается процент' обратной смеси; содержание глины обычно увеличивается; крупность песков тоже увеличивается. Кроме того, в формовочные с шей вносятся специальные улучшающие добавки. Добавки, вводимые в формовочную смесь в и елях предотвращения оксидирования сплава, должны создавать в порах стенок форм восстановительную среду и предотвращать пригар. В смесях для изготовления чугунных отливок эту задачу решает добавка угольной пыли. В случае изготовления стальных отливок образование пригара предотвращает применение облицовочных смесей из высокоогнеупорных инертных материалов (хромомагнетит и др.). Для получения отливок из титана единственным средством предотвращения оксидирования является устранение кислорода из атмосферы формы путем плавки и заливки либо в вакууме, либо в инертном газе. При литье из цветных сплавов пригар фактически не образуется, но происходит оксидирование сплавов с образованием внутренних дефектов в отливках. В случае магниевых сплавов, где такие дефекты интенсивно образуются, в смеси вводят 2—4 % борной кислоты дои серного цвета. Податливость формовочных смесей выражается в их способности оказывать слабое сопротивление усадке отливок. Для увеличения податливости в формовочные смеси вводят дисперсные добавки органических веществ, которые, выгорая, обеспечивают способность к деформации.[3] Недостаточная

газопроницаемость формовочной смеси может способствовать образованию в отливках тех или иных форм газовых пузырей. Ее можно увеличивать за счет регулирования параметров зернистой основы, уменьшения количества отработанной смеси, глины, влаги и др. В качестве добавки возможно введение опилок.

Повышение теплоаккумуляционной способности ускоряет затвердевание отливок и улучшает их свойства. Хромистый железняк, циркон, магнезит обладают большей теплопроводностью, чем кварцевый песок, однако достигаемое при их применении ускорение затвердевания по сравнению с кварцевым песком невелико. Скорость отвердевания уменьшается при добавках опилок и пенно-шамота. Попытки введения в формовочную смесь металлических частиц в виде стружки или дробы оказались не эффективными. Повышению пластичности дисперсных смесей способствует повышение содержания в них глины (до 20 %) и влаги.

Высокой выбиваемостью отличаются песчано-масляные и песчано-смоляные смеси и смеси, не имеющие связующего. Очень низкой выбиваемостью отличаются песчанно-жидкостекольные смеси. За счет введения некоторых добавок ее удастся несколько повысить.[4]

§1.2 Основные требования к формировочным смесям.

Формы и стержни в процессе изготовления, последующей сборки и заливки формы металлом подвергаются различным механическим нагрузкам, интенсивному нагреву, статическому и динамическому воздействию вливаемого металла. Поэтому формовочные материалы и приготовляемые из них смеси должны обладать комплексом различных свойств, обеспечивающих получение качественной отливки.

Формовочные и стержневые смеси должны хорошо воспроизводить конфигурацию моделей и стержневых ящиков, т.е. обладать свойством формуемости, они должны хорошо обеспечивать высокую общую и поверхностную прочность форм и стержней, иметь низкую газотворность и хорошую газопроницаемость для свободного прохода образующихся при нагреве формы газов, быть податливыми при усадке охлаждающейся отливки и иметь удовлетворительную разрушаемость (выбиваемость) после их нагрева и охлаждения.

Смеси должны хорошо противостоять высокотемпературному нагреву и физико-химическому воздействию заливаемого металла. Они должны обладать достаточной огнеупорностью, термической стойкостью и химической инертностью к заливаемому металлу.

Огнеупорность характеризует способность формовочного материала выдерживать воздействие высоких температур без его размягчения и расплавления.

Под термической стойкостью формовочной смеси подразумевают ее способность противостоять резким перепадам температур без потери общей и поверхностной прочности до образования на границе раздела “отливка-форма” твердой корки металла.

Формовочные материалы и смеси определяют тепловой и газовый режим литейной формы и условия протекания физико-химических процессов в контактной зоне “металл-форма”. Кроме того, формовочные материалы должны удовлетворять определенным экологическим требо-

вания» и способствовать созданию благоприятных санитарно-гигиенических условий труда работающих.

Необходимое качество отливок может быть обеспечено правильным выбором формовочных материалов и приготовлением смесей с необходимым комплексом свойств.

Основные свойства формовочных материалов и приготовляемых из них смесей можно разделить на четыре группы: теплофизические свойства; механические свойства; свойства, определяющие газовый режим стержней и форм; технологические свойства.

Теплофизические свойства формовочных материалов

К теплофизическим свойствам относятся теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, теплоаккумулирующая способность, которые определяют режим затвердевания и охлаждения отливок. Выбирая формовочные материалы с различными теплофизическими характеристиками, можно оказывать существенное влияние на скорость затвердевания отливки, формирование ее структуры и основных свойств.

Теплоемкость C характеризуется количеством тепла, необходимого для нагрева единицы массы вещества на 1 град. Теплоемкость, отнесенная к единице массы вещества, называется удельной теплоемкостью и имеет размерность Дж/(кг•К). Объемная теплоемкость представляет собой произведение удельной теплоемкости на плотность вещества:

$$C = c \cdot \rho \quad (1)$$

Теплоемкость смеси зависит от природы компонентов, входящих в ее состав, и от температуры; определяется в основном теплоемкостью их огнеупорной основы. C с повышением температуры и влажности теплоемкость возрастает.[5]

Теплопроводность λ . (коэффициент теплопроводности) характеризует способность материала проводить тепло. Ее размерность -

Вт/ (м К). В дисперсных средах, к которым относятся и формовочные смеси, передача тепла осуществляется за счет кондукции (контакта зерен смеси), конвекции и лучеиспусканием.

Теплопроводность формовочной смеси в наибольшей степени зависит от природы огнеупорной составляющей и структуры самой смеси, т.е. плотности укладки зерен наполнителя, размера зерен и пор.

С увеличением степени уплотнения и, соответственно, с уменьшением пористости смеси теплопроводность при низких температурах заметно возрастает, что является следствием увеличения контактной площади между зёрнами песка и уменьшения в объеме смеси количества воздуха и газов в порах смеси, теплопроводность которых по сравнению с наполнителем почти на порядок ниже.

Кварцевый песок имеет низкую теплопроводность. Такие материалы, как хромит, хромомагнетит, циркон и др. обладают более высокой теплопроводностью. Однако разница в теплопроводности формовочных смесей на основе кварцевого песка и высокотеплопроводных материалов из-за наличия в смеси большого количества пор относительно невелика.

С повышением температуры теплопроводность большинства материалов возрастает.

Температурапроводность α (коэффициент температуропроводимости) представляет собой отношение теплопроводности материала к его объемной теплоемкости (размерность м²/с) и выражается зависимостью :

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (2)$$

где λ - теплопроводность;

c - удельная теплоемкость;

ρ - плотность.

Температуропроводность характеризует глубину прогрева формы охлаждающейся отливкой.

Теплоаккумулирующая способность b (коэффициент теплоаккумулирующей способности). Теплоаккумулирующая способность формы $b\phi$ (размерность - $Вт \cdot c^{1/2} / (м^2 \cdot ^\circ C)$) связана с теплопроводностью и объемной теплоемкостью зависимостью:

$$b\phi = \sqrt{\lambda} \cdot c \cdot \rho \quad (3)$$

Величина $b\phi$ зависит от природы огнеупорной основы и ее зернового состава, степени уплотнения смесей, их пористости, температуры и некоторых других факторов.

В табл.1 приведены значения коэффициента теплоаккумулирующей способности для некоторых формовочных смесей (по данным И.Б.Куманина).[5]

Таблица 1

Коэффициент теплоаккумулирующей способности смесей

| Смесь | $b\phi$, $Вт \cdot c^{1/2} / (м^2 \cdot ^\circ C)$ |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Песчано-глинистая сухая (10% глины) | 1400-1750 |
| Та же смесь с добавкой 20 % асбестового порошка | 840-1050 |
| Песчано-глинистая с 6% жидкого стекла | 1960-2100 |
| Хромомагнезитовая с 6% жидкого стекла | 2800-3850 |

Теплоаккумулирующая способность формы является основной теплофизической характеристикой, влияющей на интенсивность охлаждения отливки. Изменяя состав формовочной смеси, теплоаккумулирующую способность формы можно регулировать в пределах от 840- 1050 до 3500-3850 Вт · с^{1/2} (м² · °С).

По данным А.И.Вейника, изменение величины b_f для песчаной формы в 368 раз увеличивает скорость затвердевания отливки в 14,4 раза.

Механические свойства

К механическим свойствам относятся: прочность смесей в сыром и отвержденном состояниях, поверхностная прочность и прочность смесей при высоких температурах.

Прочность смесей предопределяет способность формы или стержня противостоять без разрушения действию различных внешних нагрузок, возникающих при транспортировке, удалении модели из формы или стержня из ящика.

Динамическое и статическое давление заливаемого металла также оказывает силовое воздействие на форм. Центровые, горизонтально расположенные в форме стержни работают на изгиб, а их знаковые части - на срез.

Полный комплекс оценки прочностных свойств смеси включает определение прочности на сжатие, разрыв, срез и изгиб.

Прочность смеси характеризуют величиной предельной нагрузки, при приложении которой происходит разрушение стандартного образца смеси.

П.П.Бергом предложена схема проведения прочностных испытаний смесей с использованием лабораторных приборов и приспособлений.[6]

Предел прочности на сжатие и срез определяют на стандартных образцах диаметром и высотой 5,0 см, изготавливаемых на специальном копре при стандартном уплотнении тремя ударами копра.

Прочность на разрыв измеряют на стандартных образцах-восьмерках с минимальным размером поперечного сечения в месте разрыва 2,5 x 2,5 см, площадью 6,25 см².

Предел прочности на изгиб определяют на образцах квадратного поперечного сечения 2,24 x 2,24 см длиной 17 см.

Прочность смесей во влажном состоянии. Прочность смеси во влажном состоянии определяет способность формы противостоять различным нагрузкам, возникающим при извлечении модели, транспортировке формы и ее сборке.

Прочность песчано-глинистой смеси во влажном состоянии зависит от содержания глины, влажности, зернового состава наполнителя, степени уплотнения. С увеличением количества глины или ее дисперсности прочность смеси возрастает. Существенное влияние оказывает вода. Максимально величина прочности достигается при определенном содержании воды, достаточном для покрытия поверхности всех зерен пленкой оптимальной толщины.

Для жидких связующих прочность во влажном состоянии возрастает с увеличением их поверхностного натяжения.

Для работающих во влажном состоянии смесей чаще всего определяют предел прочности на сжатие, реже - на разрыв и срез.

Предел прочности песчано-глинистых смесей на сжатие во влажном состоянии обычно находится в пределах $0,3-0,9 \cdot 10^3 \text{ Па}$. При некоторых способах формовки применяются смеси с пределом прочности на сжатие во влажном состоянии $1,7-2,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Прочность смеси в отвержденном состоянии. Затвердевание смесей может происходить в процессе тепловой сушки или химического твердения под воздействием дополнительных факторов (например, продувки газами) или самопроизвольно.

Смеси, твердение которых происходит самопроизвольно, без дополнительного внешнего воздействия, называются самотвердеющими.

Тепловой сушке подвергаются преимущественно формы из песчано-глинистых смесей для средних и крупных толстостенных отливок, а также стержни из смесей на связующих, не отверждающихся химическими реагентами.

Предел прочности на сжатие песчано-глинистых смесей после тепловой сушки не превышает $6-8 \cdot 10^5$ Па.

Прочность химически твердеющих смесей в несколько раз больше.

Стержни работают в более тяжелых условиях, чем формы, и требования к их прочности значительно выше.

Для смесей в отвержденном состоянии обычно определяется предел прочности на сжатие или на разрыв, реже - на срез и изгиб.

Поверхностная прочность. Помимо общей прочности формы и стержни должны иметь достаточно высокую поверхностную прочность для того, чтобы противостоять механическим воздействиям при подготовке формы к заливке и динамическому воздействию заливаемого в форму металла. Непосредственное измерение поверхностной прочности достаточно сложно, поэтому применительно к затвердевшим смесям ее условно оценивают величиной осыпаемости, т.е. по потере массы стандартного образца (в %) при трении его в течение 1 мин о сетку вращающегося с частотой 60 об/мин цилиндрического сита диаметром 11,0 см с размером ячеек 0,25x0,25 см.

Поверхностную прочность форм при формовке по сырому косвенно оценивают поверхностной твердостью. Ее определяют с помощью прибора твердомера, состоящего из шарикового наконечника диаметром 10 мм, пружины и индикатора.

Замер твердости состоит в погружении в уплотненную смесь шарикового наконечника на глубину 0-5 мм под нагрузкой 1,96-9,8 Н.[7]

Для определения поверхностной твердости затвердевших форм и стержней пользуются аналогичным прибором, в котором вместо

шарикового предусмотрен ножевой наконечник, погружаемый в смесь на глубину 0-2,5 мм под нагрузкой 9,8-18,6 Н.

По поверхностной твердости судят о степени и однородности уплотнения смеси. При достаточной степени уплотнения поверхностная твердость не упроченной смеси составляет 70-85 единиц, для затвердевших смесей - 75-90 единиц.

Прочность смесей при высоких температурах) Эта характеристика смесей во многом определяет служебные свойства форм при заливке металлом, затвердевании и охлаждении отливки и возможность образования специфических дефектов отливок, зависящих от поведения смесей при нагреве.

После заливки форм металлом в поверхностных слоях смеси протекают физико-химические процессы, вызывающие в различных температурных зонах прочностные и деформационные изменения, имеющие различный характер. С одной стороны, может происходить повышение прочности за счет испарения растворителя из связующего, спекания глины и пр., с другой, - возможно падение прочности вследствие выгорания и деструкции органического связующего материала или расплавления неорганического связующего. Зона конденсации влаги, располагающаяся дальше испарительной зоны, может вызывать потерю прочности и газопроницаемости смеси. Одновременное протекание этих процессов может приводить к появлению осыпаемости, отслоению смеси и образованию засоров, земляных раковин, пригара, ужимин.

Формы и стержни должны иметь хорошую общую и поверхностную прочность при высоких температурах вплоть до формирования твердой корки металла на поверхности отливки.

Свойства, определяющие газовый режим форм и стержней

Пористость, газопроницаемость и газотворность смесей определяют характер газового режима форм и стержней и условия формирования отливок, свободных от газовых раковин и других дефектов.

Пористость (П) характеризуется отношением объема пустот (V_0) ко всему объему смеси ($V_{см}$), выраженному в процентах:

$$П = \frac{V_0}{V_{см}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Объем пор $V_0 = V_{см} - V_з$ где $V_з$ - объем зерен.

Объем зерен можно определить, зная массу образца смеси (g) и плотность зерен (ρ) по зависимости:

$$V_з = \frac{g}{\rho}$$

Величина пористости зависит от плотности укладки зерен или степени уплотнения смеси, формы и однородности зерен, содержания мелких фракций, в том числе глины, порошкообразных отвердителей.

Пористость оказывает влияние на величину газопроницаемости, условия проникновения жидкого металла в форму (образование пригара), податливость смеси, образование ужимин и тд.

Газопроницаемость - способность формовочных смесей пропускать через себя газы. Единица газопроницаемости представляет собой объем газов в м³, прошедших в течение секунды через образец смеси длиной 1 м и сечением 1 м² при перепаде давления 1 н/м². [8]

Газопроницаемость K определяется по формуле:

$$K = \frac{Q \cdot l}{F \cdot \tau \cdot \Delta p} \quad (5)$$

где Q количество воздуха, прошедшего через образец за время τ ;

l - длина образца;

F - площадь сечения образца;

Δp - перепад давления.

Газопроницаемость смесей. Под газотворностью понимают способность смеси выделять газы при нагреве до высоких температур. В процессе нагрева смеси выделение газов может происходить при испарении влаги, сгорании органических составляющих смеси, удален» и связанной воды, входящей в состав минералов, газификации без доступа кислорода органических материалов, термической диссоциации углеводородов, входящих в состав органических связующих и т.д.

На образование в отливках газовых раковин оказывает влияние общее количество выделяющихся газов и скорость газовой выделення.

Наибольшую опасность представляют газы, выделяющиеся непосредственно после заливки до появления на поверхности отливки твердой корки металла.

Общий объем образовавшихся газов зависит от содержания и газотворности входящих в состав смеси связующих и добавок, температуры нагрева и состава газовой среды.

Большую газотворность имеют смеси с синтетическими смолами» низкую - смеси с неорганическими связующими, например, жидким стеклом, глиной.

Методы определения газотворности смеси подразделяют на косвенные и прямые. Косвенные методы основаны на измерении объема газов, выделяющихся в течение 2-10 мин. из навески смеси или связующего при нагреве до 1000-1200 °С. Объем выделившихся газов относят к 1г смеси или 1% связующего. Прямые методы измерения газотворности формовочной смеси состоят в определении объема газов и скорости газовой выделення при заливке металлом, т.е. в условиях, близким к тем, которые существуют в реальных формах.[7]

В табл.2 приведены сравнительные данные по абсолютной газотворности единицы массы некоторых связующих материалов до сушки и после сушки.

Таблица 2

Газотворность различных связующих материалов (Навеска 1г)

| Газотворный материал | Газотворность, см ³ /г ость, < ;м ³ /г | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------|
| | До | после |
| Фенолоформальдегидная смола ПК-104 | 560 | 460 |
| Мочевиноформальдегидная смола МФС-01 | 1250 | 700 |
| Связующее УСК | 150 | 125 |
| Жидкое стекло | 610 | 90 |
| Огнеупорная глина | 140 | 75 |

При благоприятном соотношении между пористостью, газопроницаемостью и газотворностью в нагревающейся форме возникает газовый поток, направленный от поверхности отливки. В этом случае опасности образования газовых дефектов в отливке не возникает. При низкой газопроницаемости и высокой газотворности смеси газы могут внедряться в жидкий расплав, образуя газовые дефекты.

Технологические свойства

К технологическим свойствам относятся текучесть, уплотняемость, прилипаемость, живучесть, гигроскопичность, пригораемость, выбиваемость и податливость смесей.

Деление свойств на механические и технологические условно. Между ними нет строгого разграничения. Некоторые свойства, такие, например, как податливость и выбиваемость, могут быть отнесены как к технологическим, так и к механическим свойствам.

Текучесть. Этот показатель характеризует способность смеси пластически деформироваться под действием внешних сил.

Величина текучести (сопротивление сдвигу) формовочной смеси зависит от суммарного действия сил внутреннего трения и сил взаимного сцепления частиц и может быть описана законом Кулона

$$\tau_{\text{сд}} = P \cdot \operatorname{tg} \varphi + K \quad (6)$$

где $\tau_{\text{сд}}$ - сопротивление сдвигу;

P - вертикальная уплотняющая нагрузка;

φ - угол внутреннего трения;

$\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент внутреннего трения;

K - сила сцепления или связное между зёрнами смеси.

Течение смеси начинается, когда напряжение сдвига превысит силы сцепления между зёрнами.

Силы сцепления обусловлены главным образом свойствами связующего, его вязкостью, поверхностным натяжением, содержанием связующего или воды в смеси.

Величина внутреннего трения зависит в основном от свойств зерновой основы наполнителя: размера, формы, однородности, степени шероховатости зёрен, величины пористости.

Некоторые смеси обладают способностью течь под действием собственного веса. К ним относятся жидкие или жидкоподвижные смеси, а также смеси с низким содержанием жидкой фазы, состоящие из однородных круглых зёрен. В этом случае текучесть смеси можно характеризовать сыпучестью. К сыпучестью относятся также плакированные смеси, при приготовлении которых поверхность зёрен предварительно покрывается пленкой.

Обычно текучесть смеси снижается с повышением прочности во влажном состоянии.

Песчано-глинистые смеси имеют низкую текучесть. Их текучесть можно повысить введением в смесь пластификаторов, например, битума.

Смеси с синтетическими смолами с низким содержанием связующего имеют хорошую текучесть» (сыпучесть).

Уплотняемость. Под этим показателем понимают способность смеси уменьшать свой объем при воздействии внешних сил или собственного веса.

На уплотняемость смеси оказывают влияние содержание и вязкость связующего, зерновой состав песка, форма его зерен. Уплотняемость возрастает при повышении текучести смеси, но эта зависимость наблюдается в ограниченных пределах.

Для определения уплотняемости нет общепринятого метода. Один из применяемых методов состоит в заполнении стандартной гильзы просеянной смесью и определении степени уменьшения (в %) по высоте смеси после уплотнения тремя ударами копра.

Прилипаемость. Прилипаемость смеси к поверхности модельной оснастки обусловлена действием сил сцепления (сил адгезии) между смесью и поверхностью оснастки

Прилипание смеси происходит в тех случаях, когда силы адгезии превысят точность связи между частицами смеси (силы когезии).

Остающаяся на поверхности стержневых ящиков и моделей смесь ухудшает качество их поверхности и требует затрат времени на угощение прилипшей смеси, на ремонт и отделку стержней и форм.

Для устранения прилипания пользуются разовыми или полупостоянными разделительными покрытиями, уменьшающими силы адгезии между смесью и поверхностью оснастки.

Известно несколько различных методов оценки прилипаемости. Один из них заключается в определении усилия отрыва конусного образца смеси от поверхности гильзы. Прилипаемость определяют по формуле

$$Pr = \frac{P}{S} \quad (7)$$

где P - усилие отрыва образца;

S-поверхность контакта смеси с гильзой.

Живучесть смеси определяется временем, в течение которого смесь после приготовления сохраняет свои основные свойства и может применяться для изготовления стержней и форм.

Понятие живучести применимо почти для всех разновидностей смесей, однако особый смысл и значение оно приобретает для самотвердеющих смесей, являясь их основной характеристикой. Живучесть смеси зависит от скорости твердения смеси, природы связующего материала, температуры исходных материалов и окружающей среды, интенсивности и продолжительности перемешивания смеси.

Очевидно, что чем крупнее изготавливаемые стержни или формы, тем больше должна быть живучесть смеси.

Общепринятый метод определения живучести самотвердеющих смесей состоит в следующем. Из испытуемой смеси через определенные интервалы времени с момента ее приготовления изготавливают стандартные образцы и через каждые 4 часа определяют их прочность. Время выдержки смеси (в минутах) с момента ее приготовления и до изготовления образца, прочность которого падает на 30 % по сравнению с первоначальной прочностью, принимается за показатель живучести.[7]

Более удобный и надежный метод определения живучести предложен ЦНИИТМАШем. В гильзу, заполненную испытуемой смесью, погружается вращающийся с определенной степенью ротор, представляющий собой одну или две перекрещивающиеся пластины.

Смесь, приводимая в движение вращающимся ротором, испытывает сопротивление неподвижной части смеси из-за действующих между ними сил сцепления. Величина их меняется с изменением реологических свойств смеси. Возникающие усилия воспринимаются ротором и преобразуются в электрический сигнал, подающийся на самопишущий прибор.

Гигроскопичность . При выдержке форм и стержней до их заливки смеси могут терять или поглощать влагу. Способность смеси поглощать

валу из окружающей среды называется гигроскопичностью. Это свойство зависит в основном от природы и содержания связующего. Смеси с водорастворимыми связующими, например, с техническим лигносульфонатом, имеют повышенную гигроскопичность. Смеси с водонерастворимыми связующими, например, фенольными смолами, масляными связующими, наоборот, не гигроскопичны.

Повышенная гигроскопичность может приводить к разупрочнению поверхностного слоя стержня или формы, образованию дефектов отливок, в том числе и газовых раковин.

При высокой гигроскопичности смесей продолжительность хранения стержней и форм до заливки ограничивается.

Пригораемость характеризует склонность смеси к образованию на поверхности отливки трудноотделимого слоя смеси, пропитанного прожилками металла или продуктами химического взаимодействия между компонентами смеси и оксидами металла.

Для устранения пригораемости на поверхность форм и стержней наносят различные противопопригарные покрытия или применяют смеси на основе высокоогнеупорных материалов повышенной теплопроводностью и теплоаккумулирующей способностью.

Выбиваемость смесей. Выбиваемость характеризует трудоемкость удаления стержневой или формовочной смеси из отливки после ее охлаждения.

Трудоемкость выбивки определяется величиной вторичной прочности смеси, формирующейся в процессе нагрева стержней и форм до высоких температур при заливке металла и последующего их охлаждения вместе с отливкой.

Выбиваемость зависит от природы связующего материала (органического, неорганического), содержания его в смеси, силового взаимодействия между отливкой и стержнем или частью формы, температуры прогрева смеси. Смеси с органическими связующими, как правило,

легко удаляются из отливки вследствие деструкции и выгорания связующего, причем выбиваемость их тем лучше, чем выше температура их прогрева. Жидкостекольные смеси выбиваются плохо, песчано-глинистые смеси занимают промежуточное положение. Высокая прочность и трудоемкое удаление смесей с жидким стеклом после прогрева до высоких температур объясняется спеканием смеси вследствие образования вторичных силикате» при температурах выше 700 °С с участием расплавляющегося жидкого стекла, продуктов твердения и кремнезема наполнителя. Вследствие этого вторичная (остаточная) прочность жидкостекольных смесей оказывается в несколько раз выше прочности смеси до нагрева.

Выбиваемость смесей оценивают работой, затрачиваемой на разрушение коническим бойком образца смеси диаметром 5,0 см и высотой 3,0 см, находящегося в металлической гильзе. Работу выбивки A определяют по формуле

$$A = n \cdot G \cdot h \quad (8)$$

где n - число ударов бойка, необходимое для пробивки образца смеси:

G - масса падающего груза;

h - высота падения груза.

Иногда о выбиваемости судят по величине остаточной прочности смеси, определяемой после нагрева до высоких температур и медленного охлаждения образца вместе с печью.[1]

Податливость Способность смеси деформироваться под действием усадки отливки в процессе ее охлаждения называется податливостью. При плохой податливости смеси и затрудненной усадке в отливке возникают внутренние напряжения и, в предельном случае, трещины. Податливость висит от природы связующего материала, его содержания в смеси и степени уплотнения.

Песчано-глинистые смеси, особенно при повышенном содержании глины, малоподатливы. Жидкостекольные смеси становятся податливыми после прогрева их до температур выше 700 °С в результате расплавления связующего.

Глава 2. Исследование технологического процесса использования в формировочных смесях базальтового волокна.

2.1 Характеристика и свойства базальта как минерально-сырьевого материала в литейном производстве.

Базальт – это наиболее распространённый природный камень, порода вулканического происхождения, которую можно обнаружить в виде межпластовых тел или потоков лавы, возникших после извержения вулкана. Богатые залежи расположены в Индии, США и на Гавайских островах. Наиболее известные месторождения базальта — это вулканы, расположенные на Камчатке и Курильских островах, а также Везувий и Этна. Описание: базальт горная порода с отличными характеристиками. Данный камень базальт имеет чёрный, дымчатый, тёмно-серый или зеленовато-чёрный цвет. Основу его состава образуют авгит и полевой шпат. Плотность камня составляет 2530-2970 кг/м³; Водопоглощение варьируется в пределах от 0,25 до 10,2 %. Коэффициент Пуассона составляет 0,20-0,25. Удельная теплоёмкость 0,85 Дж/кг•К при 0°С. Температура плавления находится в пределах 1100-1250 °С, в некоторых экземплярах этот показатель доходит до 1450 °С. Сопротивление находится в пределах 60-400 МПа. Химический и минеральный состав базальта В минеральный состав базальта входит: вулканическое стекло, микролиты плагиоклазов, титаномагнетита, магнетита а также клинопироксена. Структура минерала – порфирированная, стекловатая или скрытокристаллическая афировая.[9] Породы первой разновидности отличаются наличием небольшого количества примесей призм пироксенов чёрного цвета, а также изометричных кристаллов оливина, имеющего жёлто-болотный оттенок. Подобные включения могут достигать четверти всей массы. Помимо этого, в составе базальта может присутствовать роговая обманка и ортопироксен. Самым распространенным аксессуарным минералом считается апатит. Базальт добывают преимущественно из потоков лавы вулканов. Куски, добытые из верхней части, могут быть

пузыристыми, так как во время остывания вулканической породы, из неё выходят пары и газы. Затем в получившихся отверстиях могут откладываться иные минералы, наиболее распространенными среди них является пренит, цеолит, кальций и медь. Такого вида базальт именуется миндалекаменным. Практическое применение базальта Строительные материалы, изготовленные из этого камня, широко используются в строительстве, поскольку им присущи: устойчивость к истиранию, к влиянию щелочей и кислот, отличные показатели теплоизоляции и шумопоглощения, прочность, термоустойчивость и огнеупорность, высокая диэлектричность, долговечность, паропроницаемость и, что не менее важно, экологичность. Данный минерал используют в качестве строительного камня, для производства минеральной ваты, наполнителя для бетона и каменного литья. Из него также делают дорожные и облицовочные камни, получают щебень и кислотоупорный порошок. Облицовочные плиты на данный момент одновременно с декоративной целью выполняют функцию изоляторов. Благодаря устойчивости к атмосферным воздействиям, базальт хорошо подходит для отделки внешней части строений, а также для отливания уличных скульптур. Производство базальта и продукции на его основе Чаще всего производство базальта – это горнодобывающая отрасль. В специальных карьерах и рудниках добывается камень, на основе которого в последствии производится разная продукция. В виде базальтового волокна этот минерал применяется для утепления зданий и крыш, в трехслойных панелях-сэндвичах, изоляции низкотемпературных агрегатов оборудования при извлечении азота и создании кислородных колонн, для тепло- и звукоизоляции трубопроводов, плит, каминов и других жаровен, энергетических агрегатов и в целом зданий и сооружений любого назначения. Базальт в расплавленном виде применяется для создания ступеней лестниц, фасонных плиток и других строительных материалов. Из него отливают аппараты произвольных форм, среди которых подставки

для аккумуляторов, а также изоляторы для сетей с напряжением различной величины. Порошок из такого материала используется для производства прессованных армированных изделий. Самые известные изделия из базальта Утеплители на базальтовой основе Базальтовая плитка отделочная Базальтовые дымоходы для каминов и печей Распространенные виды базальта Виды базальта отличаются друг от друга различными показателями, в первую очередь, такими как цвет и структура. Самой известной торговой маркой является разновидность под наименованием «Базальтина». Это материал итальянского происхождения, который добывают недалеко от столицы этой страны и используют в основном в архитектурных целях ещё со времён Древнего Рима. Его прочность сравнима с прочностью гранита, а декоративные качества с декоративными качествами известняка. Камень после укладки долго сохраняет насыщенность цветовой палитры. Поэтому его стоимость нередко превышает цену иных торговых марок более в чем в два раза. Другая разновидность – азиатская. Её отличает тёмно-серая окраска и умеренная цена. Его широко используют в дизайнерских и архитектурных целях. Мавританский зелёный базальт имеет насыщенный тёмно-зелёный оттенок, с присутствующими в нем различными вкраплениями, которые придают камню оригинальный внешний вид при сохранении всех физико-механических характеристик.[9] Только критерии твёрдости и морозостойкости несколько ниже. Сумеречный базальт привозят из Китая. Он имеет дымчато-серый или чёрный цвет. Его признают самым крепким и износо- и морозостойким среди всех разновидностей данного минерала. Он хорошо защищён от негативного атмосферного воздействия

Базальт — магматическая вулканическая горная порода основного состава, нормального ряда щелочности из семейства базальтов. Название, возможно, происходит от **греч.** βασικός — «основной», или, по другой версии, от **эфиопского** «basal» (или «bselt», «bsalt» — «кипячёный»), что означает «железосодержащий камень», так как в рукописях **Плиния**

Старшего упоминается, что первые базальты появились из Эфиопии. Базальты являются эффузивным аналогом **габбро**. К разновидностям базальтов относят **траппы** и палеотипные аналоги - **долериты**. Преобладают среди других кайнотипных (слабо изменённых) пород.

В сейсмологии «базальтовым» называется нижний слой земной коры, выделяемый по повышенной скорости продольных сейсмических волн ($V_P=6,5—7,2$ км/с), характерной для базальтов. Толщина базальтового слоя на континентах достигает 20-35 км, в океанах не превышает 5-6 км. Для определения природы «базальтового» слоя бурилась **Кольская сверхглубокая скважина**. [9]

Структура и текстура

Обычно базальты это тёмно-серые, чёрные или зеленовато-чёрные породы, обладающие стекловатой, скрытокристаллической афировой или порфировой структурой. В порфировых разностях на фоне общей скрытокристаллической массы хорошо заметны мелкие вкрапленники зеленовато-жёлтых изометричных кристаллов **оливина**, светлого **плагиоклаза** или чёрных призм **пироксенов**. Размер вкрапленников может достигать несколько сантиметров в длину и составлять до 20—25 % от массы породы.

Текстура базальтов может быть плотной массивной, пористой, миндалекаменной. Миндалины обычно заполняются плагиоклазом, базальтической роговой обманкой, **полевым шпатом**, **кальцитом**, **хлоритом** и прочими вторичными минералами — такие базальты называются мандельштейнами.

Плотность (2,60 — 3,10 г/см³).

Минеральный состав

Основная масса сложена микролитами плагиоклазов, клинопироксена, магнетита или титаномагнетита, а также вулканическим стеклом. Вкрапленники, как уже было сказано, обычно представлены оливином, клинопироксеном, плагиоклазом, редко ортопироксеном или

роговой обманкой. Наиболее распространённым акцессорным минералом является апатит.

Химический состав

Содержание кремнезёма (SiO_2) колеблется от 42 до 52—53 %, суммы щелочей Na_2+K_2 до 5 %, в щелочных базальтах до 7 %.[9]

| Оксид | Содержание, % |
|-------------------------|---------------|
| SiO_2 | 47-52 |
| TiO_2 | 1-2.5 |
| Al_2O_3 | 14-18 |
| Fe_2O_3 | 2-5 |
| FeO | 6-10 |
| MnO | 0.1-0.2 |
| MgO | 5-7 |
| CaO | 6-12 |
| Na_2O | 1.5-3 |
| K_2O | 0.1-1.5 |
| P_2O_5 | 0.2-0.5 |

Большее значение имеет классификация базальтов на основании химического состава, который находится в определённом соответствии с их минеральным составом: например, содержание SiO_2 увеличивается от мелилититов к базальту обыкновенному. По содержанию SiO_2 все базальты делятся на три группы: основные, нейтральные и кислые. В группу основных базальтов входят: мелилитит оливинный, мелилитит, нефелинит оливинный, нефелинит, а также лимбургит и авгитит, которые характеризуются наличием стекловидной фазы. По химическому составу к этой группе относятся базальтовые породы, содержащие до 42 % SiO_2 . Следует отметить, что к группе основных базальтов должны быть отнесены образцы базальтов, доставленные с Луны. В их состав входит 40—42 % SiO_2 . Иногда из группы основных базальтов выделяют ультраосновные (мелилититы и нефелиниты оливинные) с содержанием SiO_2 менее 40 %. В группу нейтральных входят базальты с 43—46 % SiO_2 : базаниты, лейцититы и оливинные лейцититы. В этих базальтах имеется полевой шпат. К группе кислых базальтов относятся базальт обыкновенный, базальт оливинный и тефриты (свыше 46 % SiO_2).

Вторичные изменения

Вследствие вторичных изменений исходно тёмно-серые или чёрные базальты обретают характерную зеленоватую окраску (т. н. зеленокаменное перерождение), а в больших массах проявляется характернейшая столбчатая отдельность в виде 3-7-гранных столбов. Происходят и минералогические изменения: стекло может замещаться палагонитом — аморфным гелеподобным веществом зеленоватого или желтоватого цвета, состоящим преимущественно из монтмориллонита; по клинопироксену развивается актинолит; по плагиоклазу — альбит и соссюрит. В целом же самыми распространёнными из вторичных минералов по базальту являются кальцит, пренит, цеолиты.

Распространённость

Базальты — самые распространённые **магматические породы** на поверхности **Земли** и на других планетах **Солнечной системы**. Основная масса базальтов образуется в **срединно-океанических хребтах** и формирует **океаническую кору**. Кроме того базальты типичны для обстановок активных континентальных окраин, **рифтогенеза** и внутриплитного **магматизма**.

При кристаллизации по мере подъёма на поверхность Земли базальтовой магмы на глубине иногда образуются сильно дифференцированные по составу, расслоённые **интрузии**, в частности габбро-норитов (такие как Норильские, Садбери в Канаде и некоторые другие). В таких массивах встречаются месторождения медноникелевых руд и платиноидов.

Основные магматические горные породы в СНГ очень распространены. Они занимают, с учётом Сибирских **траппов**, 44,5 % площади территории СНГ и представляют большой интерес как сырьё. Известно более 200 месторождений базальтовых пород, из них более 50 месторождений эксплуатируются. В настоящее время базальты применяются не только в строительстве (щебень, штучный камень, облицовка зданий и др.) но и для производства каменного литья, петроситаллов, базальтовых волокон, сырья для получения портландцементного клинкера.

Месторождения базальтов встречаются на **Камчатке**, на **Украине**, в **Армении**, **Алтае**, в **Забайкалье** и в других районах. Из месторождений Армении известны Джермукское, Кэзбекское и Мозское. Большие залежи базальта открыты в **Львовской области**, а также вблизи **Донецка**. [9]

Происхождение

Базальты образуются при застывании излившегося на поверхность Земли, подразумевая под этим и дно океана, силикатного магматического расплава основного (базальтового) состава. Происхождение базальтовой магмы по одной из гипотез состоит в частичном плавлении

типичных **мантийных** горных пород, **гарцбургитов**, **верлитов** и др. Состав выплавки определяется химическим и минеральным составом протолита (исходной породы), физико-химическими условиями плавления, степенью плавления и механизмом ухода расплава.

По геодинамической природе выделяются следующие типы базальтов:

базальты срединно-океанических хребтов (сокращенно БСОХ, **англ.** MORB от mid-ocean ridge basalt),

базальты активных континентальных окраин, внутриплитные базальты, которые можно подразделить на континентальные и океанические базальты.

Извержение базальтов срединно-океанических хребтов — важнейший в массовом отношении процесс в верхней части Земли.

Изменения

Базальты очень легко изменяются гидротермальными процессами. При этом **плаггиоклаз** замещается **серицитом**, **оливин** — **серпентином**, основная масса **хлоритизируется** и в результате порода приобретает зеленоватый или синеватый цвет. Особенно интенсивно изменяются базальты, изливающиеся на дне морей. Они активно взаимодействуют с водой, при этом из них выносятся и оседают многие компоненты. Этот процесс имеет большое значение для геохимического баланса некоторых элементов. Так большая часть **марганца** поступает в океан именно таким способом. Взаимодействие с водой кардинальным образом меняет состав морских базальтов. Это влияние можно оценить и использовать для реконструкций условий древних океанов по базальтам. [9]

При **метаморфизме** базальты, в зависимости от условий, превращаются: при низких температурах (330—550 °С) и средних давлениях в **зелёные сланцы**, **амфиболиты**; при низких температурах и значительных давлениях — в глаукофановые сланцы с разновидностью **голубые сланцы**, получившими своё название по

голубому цвету входящих в их состав щелочных амфиболов; а при высоких температурах и давлениях — в **эклогиты**, состоящие из **пиропового граната** и натриевого клинопироксена — **омфацита**.

Применение

Базальт используют как сырье для щебня, производства **базальтового волокна** (для производства теплозвукоизоляционных материалов), каменного литья и кислотоупорного порошка, плиты мощения, брусчатки, облицовочных плит, а также в качестве наполнителя для бетона. Базальт весьма устойчив к атмосферному воздействию и потому часто используется для наружной отделки зданий и для изготовления скульптур, устанавливаемых на открытом воздухе и в качестве строительного и облицовочного материала.

Базальтовое волокно — материал, получаемый из природных минералов путём их расплавления и последующего преобразования в волокно без использования химических добавок.

2.2 Разработка математической модели свойств и оптимизация составов формовочных смесей.

Целью работы является ознакомление с методикой разработки математических моделей свойств формовочных (стержневых) смесей методом планирования эксперимента и определение оптимальных составов смесей.

Основные понятия. Матрица планирования.

При планировании эксперимента одновременно варьируются все факторы, влияние которых хотим изучить. В этом коренное отличие изучаемого в данной работе метода от однофакторного эксперимента. Поэтому планируемый эксперимент дает возможность значительно сократить число опытов. Результатом работы является математическая модель свойств смеси.

Будем выполнять называемый полный факторный эксперимент (ПФЭ). Для двух уровней (верхнего и нижнего) число опытов N при числе факторов K равно.

$$N=2^K \quad (1)$$

Качественные и количественные факторы X_i называется. Им могут быть: режимы переименование смеси (длительность переименования, порядок ввода составляющих), влажность, содержание различных связующих, режимы отвержденные и т.д. Работу будем выполнять при $K=3$, т.е. при $N=8$. Выходными параметрами Y , в зависимости от факторов, могут являться: прочность на сжатие (растяжения) во влажном (отвержденном) состоянии, газопроницаемость, насыпная плотность, уплотняемость, формируемость, текучесть, твердость, выбиваемость и т.е. [10]

Матрица планирования 3-факторного эксперимента на двух уровнях (ПФЭ 23) и результаты опытов i -го параметра в общем виде приведены в табл 2. Здесь же в качестве примера приведены конкретные данные определения одного параметра (два параллельных опыта).

| Показатели | | Факторы | | | Параметры | | | | | | | Случайные числа |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----|--|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Основной уровень, % | | A ₀ | B ₀ | Г ₀ | | | | | | | | |
| Интервал варьирования, % | | a | б | г | | | | | | | | |
| Верхний уровень, % | | A ₀ +a | B ₀ +б | Г ₀ +г | | | | | | | | |
| Нижней уровень, % | | A ₀ -a | B ₀ -б | Г ₀ -г | | | | | | | | |
| Код | X ₀ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | Y ₁ | Y ₂ | Ȳ | | Y _{ij1} | Y _{ij2} | Ȳ _{ij} | |
| № 1 | + | + | + | + | 68 | 70 | 69 | | Y _{i11} | Y _{i12} | Ȳ _{i1} | |
| Опытов | 2 | + | - | + | 58 | 62 | 60 | | Y _{i21} | Y _{i22} | Ȳ _{i2} | |
| | 3 | + | + | - | 62 | 66 | 64 | | Y _{i31} | Y _{i32} | Ȳ _{i3} | |
| | 4 | + | - | - | 38 | 44 | 41 | | Y _{i41} | Y _{i42} | Ȳ _{i4} | |
| | 5 | + | + | + | 68 | 66 | 67 | | Y _{i51} | Y _{i52} | Ȳ _{i5} | |
| | 6 | + | - | + | 46 | 44 | 45 | | Y _{i61} | Y _{i62} | Ȳ _{i6} | |
| | 7 | + | + | - | 58 | 60 | 59 | | Y _{i71} | Y _{i72} | Ȳ _{i7} | |
| | 8 | + | - | - | 37 | 41 | 39 | | Y _{i81} | Y _{i82} | Ȳ _{i8} | |
| | <p>Применения: 1) A₀, B₀, Г₀, a, б, г-натуральные значение и интервалы варьирования факторов X₁, X₂ и X₃ соответственно; 2) Плюс (+) и минус (-) сокращенные (вместо +1 и -1) кодированные значение факторов на верхнем и нижнем уровнях; Y_{ij(1,2)} – опитом значения i-го параметра j-го опыта; 1,2 – параллельные опыты.</p> | | | | | | | | | | | |

После обработки результатов опытов получим математическую модель свойств в виде уравнения регрессии с тремя парными и одним тройным взаимодействием вида.

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + B_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + B_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + B_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

Где B₀...B₁...B₁₂₃ коэффициенты регрессии.

Для упрощения парными и тройными взаимодействиями пренебрегаем.

Получим линейную модель свойств смеси типа

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 \quad (3)$$

При обработке данных будем определять:

- коэффициенты регрессии;
- дисперсии воспроизводимости;
- средние квадратичные ошибки в определении коэффициентов регрессии;
- доверительные интервалы и значимость коэффициентов регрессии;
- адекватность моделей;
- отыскание оптимального состава смеси.

Определение коэффициентов регрессии

Коэффициенты математической модели (уравнений регрессии)

будем вычислять по формуле:

$$B_i = \frac{\sum_1^N X_{ij} \bar{Y}_{ij}}{N} \quad (4)$$

$$Y_{ij} = \frac{\sum_1^n Y_{ij}}{n} \quad (5)$$

где X_{ij} – кодирование значения i го фактора j - опыта; N – число опытов ($N=8$); n – число параллельных опытов (в примере – $n=2$); Y_{ij} – i ты пример j – го опыта.

Найдем эти значения, используя конкретный пример.

$$\bar{Y}_{i1} = \frac{68+70}{2} = 69;$$

$$\bar{Y}_{i2} = \frac{58+62}{2} = 60; \text{ и т.д (см. табл. 1)}$$

$$B_0 = \frac{1 * 69 + 1 * 60 + 1 * 64 + 1 * 41 + 1 * 67 + 1 * 45 + 1 * 59 + 1 * 39}{8} = 55,50;$$

$$B_1 = \frac{1 * 69(-1) * 60 + 1 * 64 + (-1) * 41 + 1 * 59 + (-1) * 39}{8} = 9,25;$$

$$B_2 = \frac{1 * 69 + 1 * 60 + (-1) * 64 + (-1) * 41 + 1 * 67 + 1 * 45 + (-1) * 59 + (-1) * 39}{8} = 4,75;$$

$$B_3 = \frac{1 * 69 + 1 * 60 + 1 * 64 + 1 * 41 + (-1) * 67 + (-1) * 45 + (-1) * 59 + (-1) * 39}{8} = 3,00$$

Таким образом, математическую модель рассматриваемой смеси по параметру Y можем записать в следующем виде

$$Y_1 = 55,50 + 9,25 * X_1 + 4,75 * X_2 + 3,00 * X_3 \quad (6)$$

где $X_1 * X_2 * X_3$ – кодированные значения факторов.

Для перевода кодированных значений в натуральные используем следующее соотношение.

$$X_i = \frac{\bar{X}_i - X_{oi}}{\Delta X_i}, \quad (7)$$

где X_i кодированное значение i -го фактора ; \bar{X}_i – натуральное значение i -го фактора ; X_{oi} натуральное значение i -го фактора основного уровня ΔX_i – интервал варьирования i -го фактора.

Далее не обходима проверить значимость коэффициентов регрессии. С этой целью находим доверительный интервал, который в свой очередь зависит от дисперсии средних квадратичных ошибок при определении коэффициентов регрессии.

Дисперсии среднего арифметического и однородность дисперсий

Для определения дисперсий среднего арифметического и их однородности не обходимо проводить так называемые параллельные опыты. Дублируя их, или провести несколько опытов (обычно 3-4) на так называемом нулевом уровне (иначе- основном уровне). При дублировании

полностью постараются все эксперименты : готовятся смеси, из которых делаются новые образцы и т.д..т.е. полностью выполняются повторно все технологические операции от подготовки исходных материалов до испытания образцов. При определении свойств смесей обычно выполняются не менее трех испытаний.

Поскольку такую работу как лабораторную в ограниченное время выполнит невозможно, мы упростим параллельные опыте, сделав их так, как показано в табл 1.

Этим расчетом мы проверяем степень точности экспериментов, однородность точности, воспроизводимость процессов проведения опытов. С этой целью используем G – критерий (или иначе - критерий Кохнера). Расчетное значение критерия Кохнера G_p сравниваем с табличным G_T .

Если

$G_p \leq G_T$ – процесс воспроизводим,

$G_p \geq G_T$ – процесс не воспроизводим.

Расчетное значения критерия Кохнера определим по формуле

$$G_p = \frac{S_n^2 \max}{\sum_1^N S_n^2 ij}, \quad (8)$$

где

$$\sum_1^N S_n^2 ij = \sum_1^N \frac{\sigma_{ij}^2}{2}. \quad (9)$$

Для определения приведенных в (8) и (9) значений необходимые данные представлены в табл. 2.

Таблица. 2.

| | Y_{ij1} | Y_{ij2} | $\bar{b}_{ij} = Y_{ij1} - Y_{ij2} $ | b_{ij}^2 | $S_{nij}^2 = \frac{b_{ij}^2}{2}$ |
|---|-----------|-----------|--------------------------------------|------------|----------------------------------|
| 1 | 68 | 70 | 2 | 4 | 2 |
| 2 | 58 | 62 | 4 | 16 | 8 |
| 3 | 62 | 66 | 4 | 16 | 8 |
| 4 | 38 | 44 | 6 | 36 | 18 |
| 5 | 68 | 66 | 2 | 4 | 2 |
| 6 | 46 | 44 | 2 | 4 | 2 |
| 7 | 58 | 60 | 2 | 4 | 2 |
| 8 | 37 | 41 | 4 | 16 | 8 |

$$\sum_1^N \frac{b_{ij}^2}{2} = 50$$

Следовательно, согласно (8)

$$G_p = \frac{18}{50} = 0,36$$

Табличное значение критерия Кохрена находки, учитывая следующие условия: уровень значимости α , число опытов N , число степеней свободы каждой строки f_j , значение $G_T(\alpha; N; f_j)$. [10]

Уровень значимости примем равным 0.05 (вероятность воспроизводства опытов с теми же погрешностями равна: $1 - 0.005 = 0.995$, т.е., 99.5%): $N = 8; f_j = n - 1$ (здесь n - число ранее найденных среднеарифметических значений параметра каждой строки, т.е., \bar{Y}_{ij} ; n - число параллельных опытов; $f_j = 2 - 1 = 1$). Находим что $G_{T(0,05;8;1)} = 0,6798$.

Итак, $G_p < G_T$ процесс воспроизводим,

При $G_p > G_T$ все эксперименты необходимо повторить, более тщательно их выполняя. Если такая ситуация возникает в студентской лабораторной работе, расчеты необходимо проводить дальше. Однако при анализе нужно показать допущенные ошибки или грубые промахи.

Ошибку опытов (или дисперсии воспроизводимости параметров) вычисляем по формуле

$$S_{yi}^2 = \frac{\sum_1^N S_{nij}^2}{N} \quad (9)$$

В примере $S_{yi}^2 = \frac{50}{8} = 6,25$.

Расчет доверительных интервалов и значимости коэффициентов регрессии.

Коэффициенты уравнениях регрессии считается значимым, если

$$|B_i| \geq \Delta B_i, \quad (10)$$

где ΔB_i – доверительный интервал, равный

$$\Delta B_i = \pm t(\alpha; f_y) * S_B, \quad (11)$$

здесь $t(\alpha; f_y)$ - критерий Стьюдента ; S_B – среднеквадратическая ошибка в определений коэффициентов регрессия

$$S_B = \sqrt{\frac{S_{yi}^2}{N}}$$

В примере $f_y = N * (n - 1) = 8 * (2 - 1) = 8$ - число степеней свободы:

$$S_B = \sqrt{\frac{6,25}{8}} = 0,88.$$

Критерий Стьюдента $t_{(0,05/8)} = 2,31$

Доверительный интервал

$$\Delta B_i = 2,21 * 0,88 = 2,04.$$

Так как $|B_i| > 2,04$ - все коэффициенты в уравнений регрессий (6) статистически значении. Незначимые коэффициенты исключаются из уравнений регрессии свойства смеси.

Проверка адекватности математической модели.

Адекватность модели означает, что по этой модели расчетные значение отклика (параметра) должны отличаться от получаемых значений не более чем на заранее принятый уровень значимости.

Проверку адекватности свойств смеси выполним по F – критерию (критерию Фимера). Модель считается адекватной, если

$$F_T(\alpha: f_{ag}: f_y) \quad (12)$$

где F_T и F_P – табличное и расчетное значения критерия Фимера .

Расчетное значение критерия Фимера определим по формуле

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_{yj}^2} \quad (13)$$

где

$$S_{ag}^2 = \frac{\sum_1^N (\bar{Y}_{ij} - Y_{pij})^2}{f_{ag}} \quad (14)$$

$$f_{ag} = N - K - 1 = 8 - 3 - 1 = 4 \quad (15)$$

Критерия Фимера табличный

$$F_{T(0.5;4;8)} = 3,8378$$

В формуле (14) величина $\sum_1^N (\bar{Y}_{ij} - Y_{pij})^2$ определяются следующим образом: \bar{Y}_{ij} берется из табл 1. Y_{pij} находится расчетом, исходя из уравнения [10]

$$Y_{pi1} = 55,50 + 9,25 \cdot (+1) + 4,75 \cdot (+1) + 3,00 \cdot (+1) = 72.50;$$

$$Y_{pi2} = 55,50 + 9,25 \cdot (-1) + 4,75 \cdot (+1) + 3,00 \cdot (+1) = 54.00;$$

$$Y_{pi3} = 55,50 + 9,25 \cdot (+1) + 4,75 \cdot (-1) + 3,00 \cdot (+1) = 63.00;$$

$$Y_{pi4} = 55,50 + 9,25 \cdot (-1) + 4,75 \cdot (-1) + 3,00 \cdot (+1) = 44.50;$$

$$Y_{pi5} = 55,50 + 9,25 \cdot (+1) + 4,75 \cdot (+1) + 3,00 \cdot (-1) = 66.50;$$

$$Y_{pi6} = 55,50 + 9,25 \cdot (-1) + 4,75 \cdot (+1) + 3,00 \cdot (-1) = 48.00;$$

$$Y_{pi7} = 55,50 + 9,25 \cdot (+1) + 4,75 \cdot (+1) + 3,00 \cdot (+1) = 72.50;$$

$$Y_{pi8} = 55,50 + 9,25 \cdot (+1) + 4,75 \cdot (+1) + 3,00 \cdot (+1) = 72.50;$$

Все данные занесены в табл (3)

| № | \bar{Y}_{ij} | Y_{pij} | $(\bar{Y}_{ij} - Y_{pij})^2$ |
|---|----------------|-----------|-----------------------------------------------|
| 1 | 69 | 72.50 | 12.25 |
| 2 | 60 | 54.00 | 36.00 |
| 3 | 64 | 63,00 | 1.00 |
| 4 | 41 | 44.50 | 12.25 |
| 5 | 67 | 66,50 | 0.25 |
| 6 | 45 | 48.00 | 9.00 |
| 7 | 59 | 57.00 | 4.00 |
| 8 | 39 | 38.50 | 0.25 |
| | | | $\sum_1^N (\bar{Y}_{ij} - Y_{pij})^2 = 75,00$ |

Следственно, согласно (14) и (13)

$$S_{ag}^2 = \frac{75}{4} = 18,75; \quad F_p F_p = \frac{18,75}{6,25} = 3,00$$

$F_p \leq F_T$ - модель адекватна.

Такие расчеты необходимо выполнить для всех заданных параметров. Наряду с управлением регрессии (7) положим что получили два уравнения для других свойств.

$$Y_2 = 3,2 + 0,5 * X_1 + 0,2 * X_2 - 0,06 * X_3 \quad (16)$$

$$Y_3 = 123,75 + 2275 * X_1 + 17,25 * X_2 - 9,25 * X_3 \quad (17)$$

Имея уравнения регрессии рассматриваемых свойств смесей, зная технологические требования, предъявляемые к ним произведем выбор составов смесей, удовлетворяющих этим требованиям при минимуме стоимости.

Сначала графическим методом определим составы смесей с заданными свойствами. Из уравнений регрессии найдем два фактора из трех (X_1 , X_2 или X_3) наиболее интенсивно влияющих на изменение свойств. Об этом можно судить по относительной величине

коэффициентов регрессии каждого уравнения. Такими факторами в нашем случае являются X_1 и X_2 третий фактор закрепим на основном уровне ($X_3=0$). Положим что параметр $Y_1 \geq A$. $Y_2 \leq B$. $Y_3 \leq C$. Получив систему из трех уравнений и решив ее, найдем область составов смесей, отвечающих заданному уровню свойств. Графически в общем виде такое решение показано на рис 1. Причем значения факторов долины находиться в границах $X_1, X_2 \leq 1$. т.к. уравнения регрессии достоверны только в пределах верхнего и нижнего уровней варьирования область которых в кодированных составляет квадрат АСТГ (рис 1) с координатами приведенными в табл 4.

| Факторы | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---------|----|----|----|---|---|---|----|----|
| X_1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| X_2 | -1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | -1 | -1 |

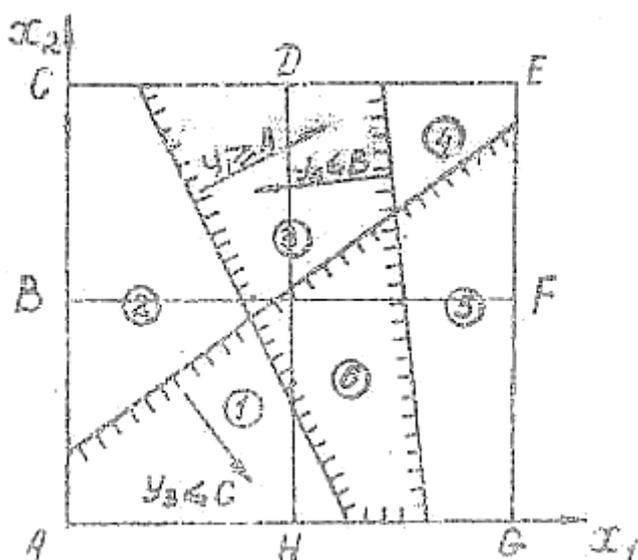


Рис1. Графическая методика выбора составов смесей с заданным уровнем свойств

На рис 1 показаны области, ограниченные линиями отвечающими уравнениями вида $X_2=V(X_1)$. линии – изопараметры Y_1, Y_2 и Y_3 последовательно сужающие области составов смесей с заданными уровнем свойств. Так области 3,4,5,6 отвечают требованиям параметра $Y_1 \leq A$, области 1, 2, 3, 6 – $Y_2 \leq B$, области 1,5,6 – $Y_3 \leq C$. Требованиям

одновременно двух параметров отвечают следующие области: $Y_1 Y_2 - 3$ и 6 , Y_2 и $Y_3 - 1$ и 6 , Y_3 и $Y_1 - 5$ и 6 . Очевидно, что область, отвечающая одновременно трем параметрам, должна быть той, которая отвечает требованием одновременно всем парным параметрам. Это- область 6 . Следовательно, все значения факторов, лежащие в области 6 и искомые составы смесей, отвечающие поставленным технологическим требованиям.[10]

При известной цене единицы массы каждого компонента нетрудно определить минимальную стоимость всех материалов, применяемые для приготовления смеси с заданном свойствами.

Продольная разбор конкретного примера, положим что $Y_1 \geq 60$, $Y_2 \geq 3,5$ и $Y_3 \geq 150$. Следует констатировать, что в рассматриваемых уравнения регрессии наименее значимым является фактор X_3 . Его закрепим на основном уровне, что позволит считать его (в кодированных координатах) равным нулю. Для графического изображения $X_2 = V(X_1)$ найдем значенияисследуемых факторов. Результатов алгебраических расчетов представлены в табл. 4 и на рис. 2.

Таблица 4

| Параметры | Y_1 | | Y_2 | | Y_3 | | Y_3, Y_3 |
|-----------|-------|---|-------|-----|-------|-------|------------|
| | А | В | С | Д | Е | Ф | |
| X_1 | 0,027 | 1 | 1 | 0,2 | 0,396 | 1 | 0,766 |
| X_2 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 0,203 | 0,463 |

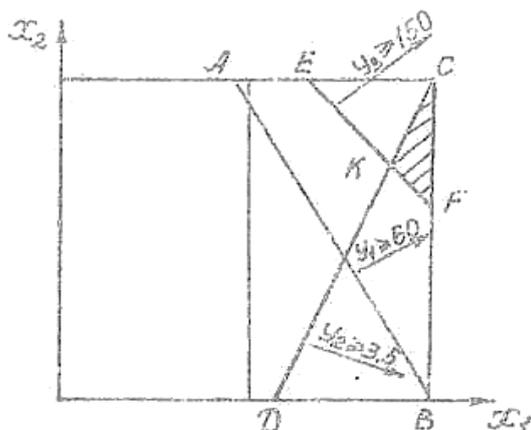


Рис.2. К определению области составов смеси с заданными свойствами.

Анализируя расположение функций на рис. 2 отражающих изопараметры U_1 , U_2 и U_3 , приходим к выводу что область состав смесей отвечающих поставленным требованиям является треугольник KCF.[10]

Далее найдем состав смеси с минимальной стоимости. Положмы что содержание компонентов варьировали в пределах указанных в табл.5. Здесь не приведена условная цена единицы массы этих компонентов.

Таблица 5

| Показатели | Факторы | | | Наполнитель |
|--------------------------------|---------|-------|-------|-------------|
| | X_1 | X_2 | X_3 | |
| Основной уровень, % масса | 4,5 | 10 | 0,2 | До 100% |
| Интервал варьирования, % масса | 1,5 | 5 | 0,1 | |
| Верхний уровень, % масса | 8 | 15 | 0,3 | |
| Нижний уровень, % масса | 3 | 5 | 0,1 | |
| Цена единицы массы | 5 | 4 | 2 | 0,1 |

Расчеты условной стоимости смесей, расположенных в точках K, C и F треугольника KCF, сведены в табл. 6. Содержание всех компонентов смесей в табл. 6, с учетом формулы (6), представлено в натуральных процентах по массе, наполнитель дополняет их до 100.[10]

Таблица 6

| Компонент | Условная цена | Содержание в точках | | | Стоимость, условн. один. | | |
|-------------|---------------|---------------------|------|------|--------------------------|------|------|
| | | K | C | F | K | C | F |
| X_1 | 5 | 5,7 | 6,0 | 6,0 | 28,5 | 30 | 30 |
| X_2 | 4 | 12,3 | 15,0 | 11,0 | 49,2 | 60 | 44 |
| X_3 | 2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Наполнитель | 0,1 | 81,8 | 78,8 | 82,8 | 8,2 | 7,9 | 8,3 |
| Итого | | 100 | 100 | 100 | 86,3 | 93,3 | 62,7 |

Из табл. 6 видно, что наиболее дешевые смеси, удовлетворяющие технологическим требованиям, находится в районе точки F треугольника KCF.

Глава 3. Технология повышений прочности песчанно-глинистых смесей с добавлением базальтовых волокон

3.1 Оптимизация свойств формовочных смесей и их тестирование.

Целью работы является ознакомление с методами определения следующих свойств смесей:

- прочности при различных испытаниях;
- газопроницаемости;
- поверхностной твердости во влажном и высушенном (или отвержденном) состоянии;
- осыпаемости;
- концентрации водородных ионов (рН);
- насыпной плотности и уплотняемости;
- формуемости;
- газотворности;
- текучести (при статическом уплотнении);
- гигроскопичности;
- содержания активного бентонита.

Работа состоит из двух частей. В первой части студенты знакомятся с приборами, непосредственно выполняя на них испытания смесей, во второй части-ввиду большой трудоемкости испытания не проводятся.

Основные понятия

Формовочные смеси подлежат стандартному испытанию на прочность при нормальной температуре (сжатие, разрыв, изгиб, срез) и после нагрева (сжатие) при высоких температурах, а также на разрыв в зоне конденсации

влаги (подвергая образец нагреву с одного торца в зоне, выдерживая при температуре 350°C в течение 50 с). Схемы этих испытаний приведены на рис.3.1.

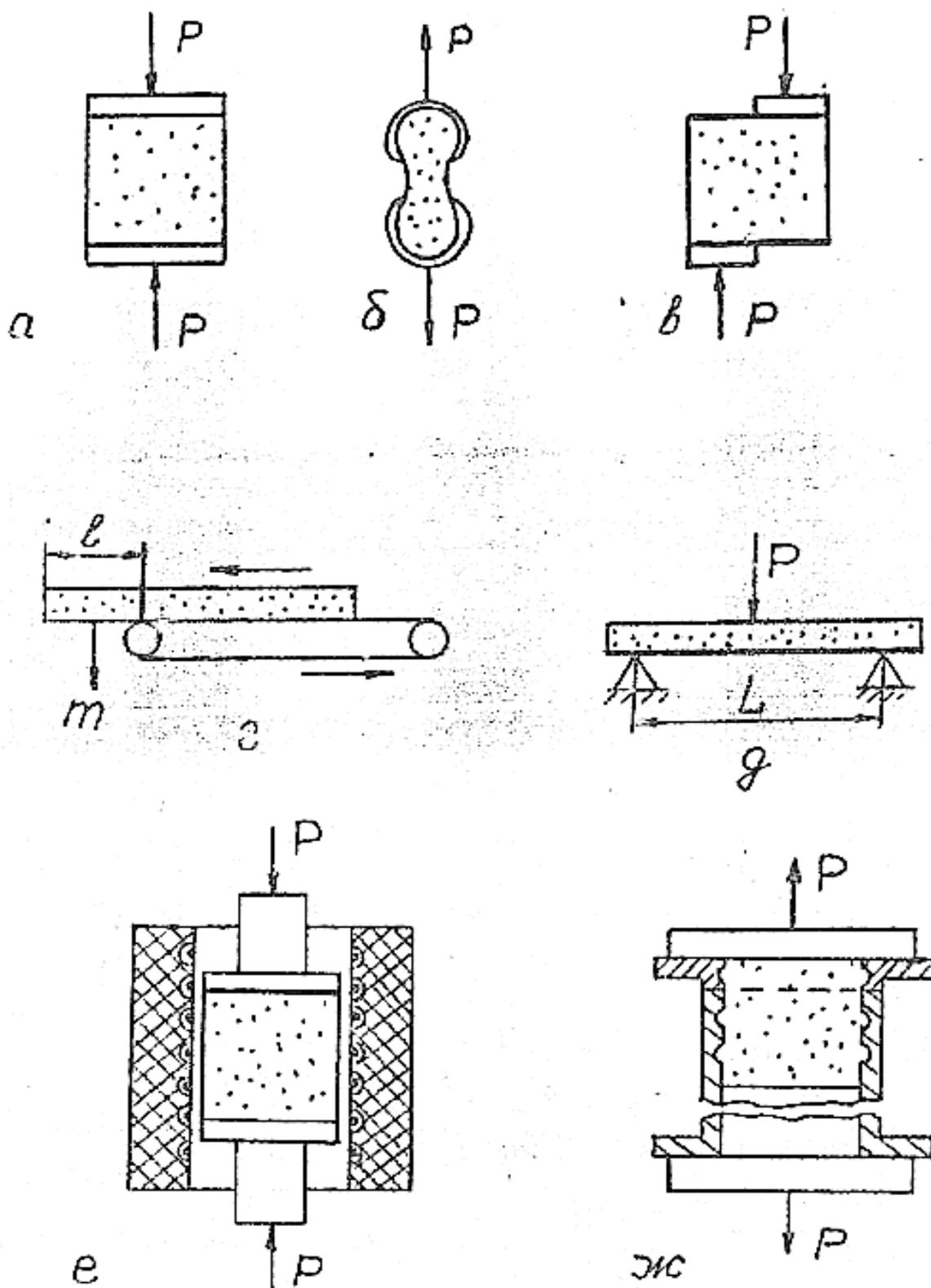


Рис.3.1. схема испытаний на сжатие (а), разрыв (д), срез (е) влажных и сухих (или отвержденных) образцов, на изгиб влажных (з) и сухих (г)

образцов, на сжатие при высоких температурах (ε) и на разрыв в зоне конденсации влаги (ε)

Образцы готовят в соответствующих стержневых или гильзах уплотнением испытуемых смесей тремя ударами груза лабораторного копра (масса $6,36 \pm 0,015$ кг) либо другими методами. Режимы сушки (отверждения) образцов назначают в соответствии с требованиями, предусмотренными нормативной-технической документацией на конкретные связующие материалы и смеси.

Пределы прочности вычисляют по формулам, Па:

-на сжатие, разрыв, срез

$$\delta = \frac{P}{F} * 9.807 * 10^4 \quad (3.1)$$

-на изгиб влажных образцов

$$\delta_{из} = \frac{3 * m * l}{\alpha^3} * 9.807 * 10^4 \quad (3.2)$$

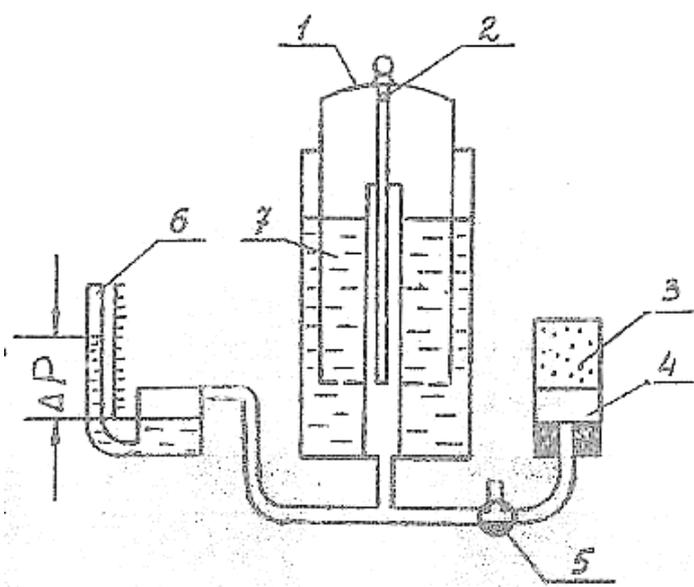
-на изгиб сухих (или отвержденных) образцов

$$\delta_{из} = \frac{3 * P * L}{2 * \alpha^3} * 9.807 * 10^4 \quad (3.3)$$

где P – усилие разрушения, кг; F – площадь разлома, см^2 ; m – масса отломившейся части, кг;

α – сторона сечения образца (сечение квадратное со стороной $\alpha = 25$ мм), см; L – расстояние между опорами, см; l – длина отломившейся части, см.[11]

Газопроницаемостью называют способность смесей пропускать газы. Это свойство смесей определяют на образцах при нормальной температуре во влажном или отвержденном состоянии, а также при повышенных температурах. Газопроницаемость образцов смеси во влажном состоянии определяют при комнатной температуре на приборе, схема которого представлена на рис .3.2.



Газопроницаемость определяют пропусканием воздуха через стандартный образец (диаметр и высота 50 мм), уплотненный тремя ударами груза лабораторного копра, изготовленный материала.

1 - колокол; 2 - отверстие в трубке; 3 - испытуемый образец; 4 - гильза; 5 – кран; 6 – водяной манометр; 7 – вода.

Рис.3.2 Схема прибора для определения газопроницаемости смесей

Величину газопроницаемости рассчитывают по формуле

$$K = \frac{Q \cdot H}{F \cdot \Delta P \cdot \tau} \text{ [единицы газопроницаемости]}, \quad (3,4)$$

где Q - объем воздуха (2000 см^3), прошедшего через образец, см^3 ; H - высота образца, см ; F - площадь сечения образца, см^2 ; ΔP - избыточное давление воздуха перед образцом, г/см^2 (или см.вод.ст); τ - время прохождения воздуха через образец, мин.

При испытании находят величины ΔP и τ , остальные являются постоянными, поэтому

$$K = \frac{509,5}{\Delta P \cdot \tau} \quad (3.5)$$

Поверхностная твердость характеризуется величиной сопротивления поверхности образцов проникновению в нее постороннего тела. Величина поверхностной твердости является косвенной характеристикой степени уплотнения и поверхностной прочности смеси.

Испытания на поверхностную твердость образцов во влажной состоянии производят прибором модели 071, образцов в отвержденном состоянии – прибором модели 073м. Размерность данной характеристики выражают в единицах твердости, определяемых по шкале прибора (твердомера).

Под осыпаемостью принимают величину потери массы поверхностного слоя образца при трении его о сетку барабана, вращающегося со скоростью 60 об/мин в течение 1 мин. Осыпаемость выражают в первоначальной массе образца

$$O_c = \frac{g_0 - g_1}{g_0} * 100 \quad (3.6)$$

где g_0 – масса образца до испытания; g_1 – масса образца после испытания, г.

Концентрация водородных ионов (рН) – одна из важных характеристик стабильности свойств смесей. При длительном хранении исходных материалов и смесей рН может понижаться вследствие образования кислоты органического и минерального происхождения (например, за счет окисления декстрина, драеной муки, серы, имеющейся в каменноугольном порошке и т.д.), также благодаря брожению органических и технологических добавок. Изменение рН смесей наблюдается и при физико-химическом взаимодействии материала смеси с металлом отливки во время заливки и охлаждения в формах.[11]

Изменение рН смесей приводит к изменению их механических и технических свойств за счет воздействия на упрочняющую способность связующих материалов (особенно глины). При этом одновременно изменяются такие показатели как формуемость, текучесть, живучесть и другие технологические свойства смеси.

Изложенные соображения диктуют необходимость постоянного контроля концентрации водородных ионов смеси (рН). Контроль рН осуществляют специальными приборами, называемыми рН – метрами. Принципиальная основа рН – метрии следующая.

Известно, что молекулы воды диссоциируют по уравнению:



Концентрация ионов водорода и гидроксильных групп при нормальной температуре воды составляет

$$(H^+) = (OH^-) = 10^{-7} \quad \text{г-ион/л.}$$

Ионное произведение воды $(H^+) * (OH^-) = 10^{-14}$.

При этом

$$(H^+) = (OH^-) = 10^{-7} \quad \text{- нейтральная среда,}$$

$$(H^+) > 10^{-7} (10^{-6}, 10^{-5} \text{ и т. д.}) \quad \text{-кислая среда,}$$

$$(H^+) < 10^{-7} (10^{-8}, 10^{-9} \text{ и т. д.}) \quad \text{-щелочная среда.}$$

Обозначают: $-\lg(H^+) = pH$.

Тогда для нейтральной среды $-\lg(10^{-7}) = pH$ или $pH=7$,

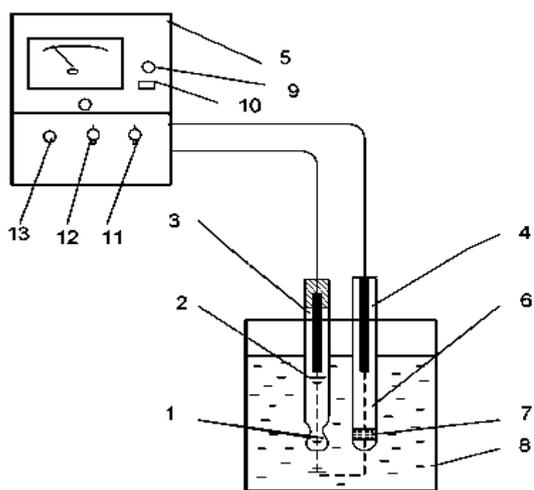
для кислой среды $pH < 7$ (6; 5 и т. д.),

для щелочной среды $pH > 7$ (8; 9 и т. д.).

Чем в большей степени pH отличается от 7, тем выше электропроводность раствора:

Принцип действия прибора для определения pH основан на

измерении электродвижущей силы, зависящей от концентрации ионов водорода в растворе. Схема измерения pH представлена на рис. 3.3. стеклянный электрод 3 состоит из трубки с полым шариком на конце специального, [11]



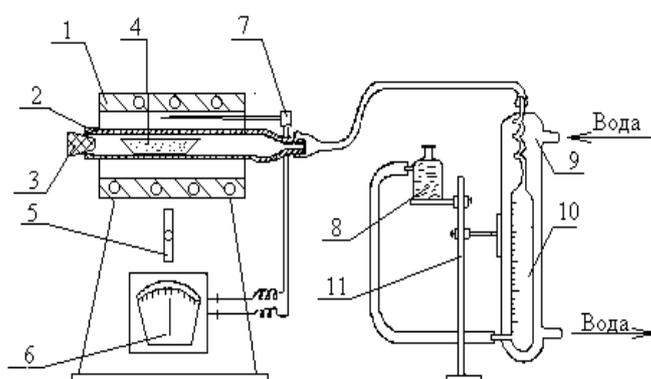
1 - полый шарик из электродного стекла; 2 - стеклянный электрод; 3 - внутренний контактный электрод; 4 - вспомогательный электрод; 5 - pH-метр; 6 - электролитический контакт; 7 - пористая перегородка; 8 - ванна для испытуемого раствора; 9 - индикатор; 10 - кнопка включения прибора; 11

– ручка переключателя рода работ; 12 – ручка переключателя диапазона измерения; 13 – ручка потенциометра температурной компенсации.

Рис. 3.3. схема определения концентрации водородных ионов (рН)

литиевого стекла. При погружении электрода в раствор между поверхностью шарика электрода и раствором происходит обмен ионами в результате которого ионы лития в поверхностных слоях стекла замещаются ионами водорода. Между поверхностью стекла и испытуемым раствором возникает разность потенциалов, величина которой определяется активностью (концентрацией) водорода в растворе. Усиленная разность потенциалов замеряется по шкале прибора (рН - метра).

Газотворностью называют способность формовочных материалов выделять газы при нагревании. Выделение газов из смесей при их нагревании является результатом испарения влаги, горения органических смесей, термического расширения воздуха и других газов при повышении температуры и т.д. газотворность смесей во многом способствует образованию газовых раковин в отливках, в связи с чем являются одним из важнейших показателей свойств смесей. Для упрощения определение газотворности производят косвенным путем по схеме, приведенной на рис.3.4.



1 - электрическая рубчатая печь; 2 - кварцевая трубка; 3 - резиновая пробка; 4-лодочка с навеской смеси; 5 - реостат печи; 6 – галь-ванометр; 7 - термопара; 8 - уравнильный сосуд; 9 - подвод охлаждающей воды; 10 - мерная бюретка с холодильником;

Рис.3.4. схема установки для определения газотворности формовочных материалов.

Печь 3 предварительно нагревают до заданной температуры, контроль которой осуществляют термопарой 5, подключенной к потенциометру 6. В трубку 2 помещают фарфоровую лодочку 4 с навеской испытуемой смеси ($m = 2 - 3\text{г.}$), предварительно высушенной при $105-110\text{ C}$ до постоянной массы. Открытый конец трубки 2 закрывают пробкой 1. Выделяющимся из смеси газ поступает в мерную бюретку 7, охлаждаемую водопроводной водой. По мере выделения газа и понижения уровня воды в мерной бюретке уравнильный сосуд 8 с водой опускают. Охлаждение бюретки выравнивание уровней воды в ней и уравнильном сосуде позволяют приводить выделяющийся газ в состояние, близкое к нормальным условиям. Окончание выделения газов фиксируют по прекращению опускания воды в бюретку. Навеску выдерживают в печи в течение 10 мин. Объем газов измеряют по разнице начального и конечного уровней воды мерной бюретки.

При расчете газотворной способности объем выделившихся газов v относят к 1 г смеси

$$\Gamma = v/m [\text{cm}^3/\text{г}]. \quad (3.9)$$

Иногда результаты опыта выражают в виде графической зависимости :

объем выделяющихся газов – время . Для получения такой зависимости необходимо производить одновременный замер времени и количества выделившегося к данному моменту газа.[11]

Под насыпной плотностью понимают массу единицы объема смеси в неуплотненном состоянии. Плотность уплотненной смеси – масса единицы объема смеси после уплотнения. Уплотняемость есть степень уменьшения объема смеси при переводе ее из неуплотненного состояния в уплотненное.

При определении насыпной плотности и уплотняемости взвешивают

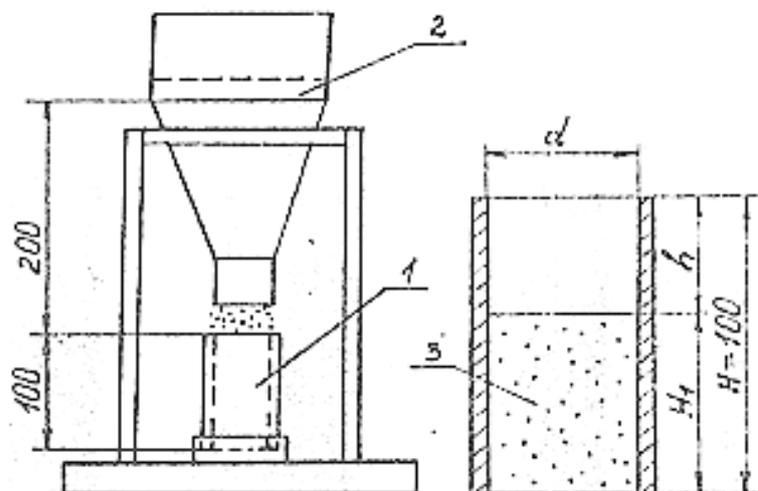


Рис.3.5. Схема заполнения гильзы (1) из воронки с сеткой (2) при определении плотности, уплотняемости смеси и уплотненной смеси (3)

пустую гильзу заполняют ее смесью через воронку с номинальным размером стороны ячейки в свету 8мм, рис. 3.5. В воронку насыпают 600г смеси. Излишки смеси с края гильзы срезают. Смесь в гильзе уплотняют на лабораторном копре и взвешивают вместе с гильзой.

Насыпную плотность (г/см^3) вычисляют по формуле

$$\gamma_{\text{нп}} = \frac{m - m_1}{v} \quad (3.10)$$

где m и m_1 - масса смеси с гильзой и пустой гильзы соответственно, г; v - объем, занимаемый смесью в гильзе, см^3 .

Уплотняемость в процентах вычисляют следующим образом

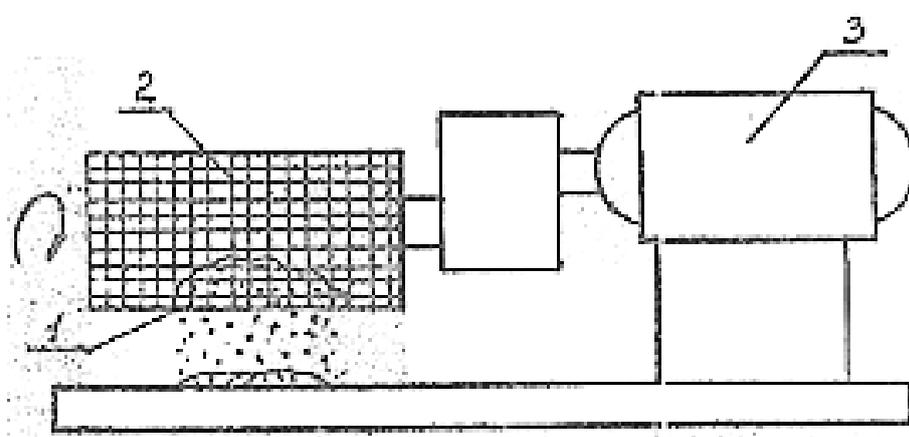
$$Y = \frac{H - H_1}{H} \cdot 100 = \frac{100 - H_1}{100} \cdot 100 = 100 - H_1 = h_1 \quad (3/11)$$

где H, H_1, h , мм (см.рис. 3.5).

Плотность (г/см^3) уплотненной смеси равна

$$\gamma_{\text{уп}} = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot d^2 \cdot H_1}$$

Формуемость - весьма важный показатель свойств смесей. Прямых методик определения величины формуемости не существует. Этот показатель определяют косвенным методом по количеству просыпавшейся испытуемой смеси через № 2.5 барабана вращающегося со скоростью 60 об/мин в течение 10с (рис. 3,6)



1-испытуемая смесь; 2- сетчатый барабан; 3- электродвигатель

Рис.3.6. Схема испытаний на формуемость

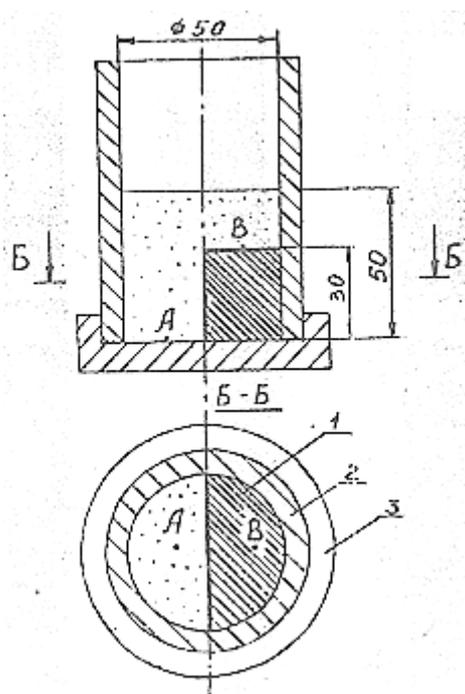
и выражают в процентах к начальной массе m_0 ($m_0 = 200 \text{ г}$)

$$\varphi = m/m_0 \cdot 100 = m/2 .$$

Величину φ - иногда называют индексом формуемости. Формуемость совместно с уплотняемостью дает возможность определить оптимальную влажность смесей необходимую для получения литейных форм надлежащего качества.

Экспериментально установлено, что оптимальной влажности должна соответствовать уплотняемость смеси равная 45%, и формуемость.

Текучестью называют способность смеси к перемещению под действием нагрузки превышающей сопротивление сдвигу. Этот показатель является особенно важным для смесей применяемых при изготовлении форм методами прессования так как здесь имеет место перетекание смеси под действием внешней нагрузки в менее уплотненные части формы. О величине текучести судят по отношению поверхностной твердости ступенчатой пробы (рис. 3,7), уплотненной стандартным способом, в точке А к твердостью в точке В в процентах



1-вставка; 2- стандартная гильза; 3-поддош

Рис.3,7. Схема пробы для определения текучести смеси при статическом уплотнении.

Гигроскопичность- способность гидрофильных смесей адсорбировать влагу. Испытания выполняют на образцах с диаметром и высотой 50мм, уплотненных тремя ударами грузу

лабораторного копра. Предварительно высушенный и взвешенный образец помещают на фильтровальную бумагу уложенную на влажный кварцевый песок (5% влажности) в эксикаторе выдерживают в течение 2 ч и снова взвешивают. Значение гигроскопичности вычисляют по формуле

$$\Gamma = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 [\%]$$

где m_0 и m_1 - масса образца до и после испытания, Г.

Активным называют бетонит не прошедший реакции шамотизации. Его связующая способность при этом сохраняется прежней. По содержанию активного бетонита судят о количестве освежения бывшей в употреблении смеси.[12]

Идея анализа содержания активного бетонита состоит в определении степени обесцвечивания водной вытяжки из смеси, в которой присутствует специально вводимый индикатор – метиленовой голубой (иначе- метиленовая синь $C_{16}H_{28}N_3Cl * 3H_2O$). Активный бетонит адсорбирует метиленовую синь обесцвечивая тем самым водную вытяжку испытуемой смеси. Чем больше в смеси присутствует активного бетонита, тем больше степень обесцвечивания раствора, которую определяют на фотоколориметре или другими методами.

3.2 Анализ прочности формовочных смесей при добавлении базальтового волокна.

Некачественные формовочные смеси образуют такие литейные дефекты, как засор, ужимины, газовые раковины, деформация и обвал форм и некоторые другие, поэтому повышение качества формовочных смесей является эффективным средством повышения качества отливок. В настоящее время в литейных цехах основным видом формовочных смесей являются песчано-глинистые смеси, поэтому расчет оптимального состава рассмотрим для этих смесей.

Независимыми переменными, определяющим и качество песчано-глинистой смеси, являются количество глины и воды в смеси, а также время перемешивания смеси в бегунах. Если глина и вода вводится в качестве глинистой суспензии, то в качестве независимых переменных процесса. необходимо принять количество и плотность глинистой суспензии. Как независимые переменные в различных условиях могут быть приняты также количество вводимого свежего песка, параметры глины (например, дисперсность) и различные специальные добавки, вводимые в смесь. Особенностью построения математических моделей на основе активных экспериментов является сравнительная простота их реализации в лабораторных условиях, поэтому в настоящее время накоплен значительный опыт математического моделирования свойств смесей.

Качество формовочной песчано-глинистой смеси в основном определяется тремя ее свойствами: прочностью в сыром состоянии на сжатие, газопроницаемостью и влажностью. Математические модели, полученные для свойств песчано-глинистой смеси на основе кварцевого песка Люберецкого месторождения и огнеупорной глины Боровичевского месторождения, имеют такой вид:

$$\sigma = 131,1 - 34,6z_1 - 20,9z_2 + 6,4z_3 - 14,1z_1 z_2;$$

$$\Gamma = 0,62 + 0,38 z_1 - 0,097 z_2 + 0,08 z_3 - 0,05 z_1 z_2 + 0,07 z_1 z_3;$$

$$W = 5,57 + 0,91 z_1 + 0,72 z_2 - 0,34 z_3 + 0,14 z_1 z_2 \quad (1)$$

где σ , Γ , W — сырая прочность, $кгс/см^2$, газопроницаемость и влажность смеси, %; z_1 , z_2 , z_3 — содержание глины и воды в смеси и время перемешивания смеси в кодированном, масштабе.

Переход от кодированных переменных к переменным для данной задачи осуществляется по формулам:

$$z_1 = \frac{X_1 - 20}{6}; z_2 = \frac{X_2 - 5}{1}; z_3 = \frac{X_3 - 10}{5}, (2)$$

где X_1, X_2 — содержание глины и воды в смеси, %; X_3 — время перемешивания смеси, мин. [12]

Особенностью оптимизации свойств формовочной смеси является то, что на основании большого опыта работы литейных цехов оптимальное значение параметров формовочных смесей приближенно известно, поэтому нетрудно выбрать пределы варьирования независимых переменных таким образом, чтобы точка оптимума находилась внутри изученной области факторного пространства. Это обстоятельство, а также небольшое количество переменных в математической модели, свойств смеси позволяют провести поиск оптимума на основе построения номограмм. Рассмотрим метод оптимизации с помощью номограмм для изучения песчано-глинистой смеси.

Если в уравнениях, описывающих зависимость технологических параметров от независимых переменных процессов, зафиксировать одну из переменных, то рассматриваемые зависимости превращаются из трехфакторных в двухфакторные и их можно изобразить в виде графических зависимостей на плоскости. При переводе зависимости из $(k+1)$ - мерного пространства в трехмерное (третьим измерением служит параметр оптимизации), оптимизация может быть проведена с помощью

номограмм. Рассмотрим оптимизацию состава формовочных смесей этим методом на основе зависимостей (1) и (2)

Время перемешивания примем равным 10 мин, в этом случае уравнение для газопроницаемости примет такой вид:

$$\Gamma = 131,1 - 34,6z_1 - 20,9 z_2 - 14,1 z_1z_2. \quad (3)$$

Используя полученное уравнение, построим линию равной газопроницаемости, отвечающей ее значению— 100 единиц. Для этого необходимо уравнение (3) решить относительно одной из переменных, например z_1 , т.е.

$$z_1 = \frac{131,1 - \Gamma - 20,9z_2}{34,6 + 14,1z_2}.$$

Подставив в полученное уравнение значений переменных в натуральном масштабе и приняв $\Gamma = 100$, получим, что при $x_2 = 5$ значение переменной $x_2 = 19,39$. Вычислив ряд других точек, получим, что при $\Gamma = 100$ зависимость между содержанием глины и влаги в смеси отвечает линии EF на рис. 3. С помощью пробных вычислений нетрудно убедиться, что зона III отвечает газопроницаемости $\Gamma < 100$, а область ниже линии EF отвечает $\Gamma > 100$. Таким образом, область смесей с газопроницаемостью больше 100 единиц находится ниже построенной линии EF. Допустим, что необходимо найти состав формовочной смеси, которая одновременно удовлетворяет условиям: $\Gamma > 100$, $\sigma > 0,4$ и $W < 5$. [12]

Подставит в зависимость значение величины $\sigma > 0,4$ и $W < 5$, получим аналогичным образом, что при $\sigma > 0,4$ соотношение между X_1 и X_2 , удовлетворяют зависимости, которая изображается на рис. линией АВ, а соотношение между X_1 и X_2 ,

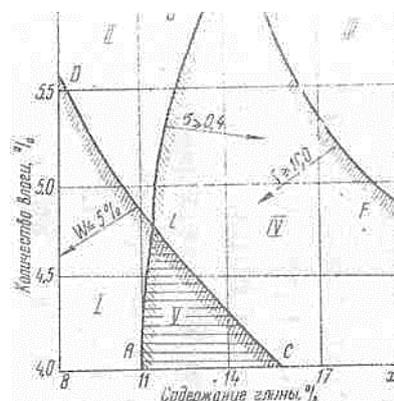


Рис. 3. Номограмма для выбора оптимального состава песчано-глинистой смеси.

удовлетворяющие условию $W=5$, должно удовлетворять линии CD. Пробными расчетами нетрудно установить, что область правее линии AB удовлетворяет условию $\sigma > 0,4$, а область ниже линии CD — условию $W > 5$. Таким образом, областью, удовлетворяющей одновременно всем требованиям, будет зона V, представляющая собой криволинейный треугольник ACL. Учитывая статистическую природу регрессионных уравнений, на основе которых была построена номограмма, а также неизбежные погрешности при реализации оптимальной смеси, на практике в наибольшей степени заданным условиям будет отвечать центральная область зоны V. Если же необходимо найти смесь, удовлетворяющую другим требованиям, то для этого необходимо построить новую номограмму.

Достоинством такого метода оптимизации является его простота и наглядность результатов. Большим недостатком & метода является то, что он может применяться только для задач с небольшим количеством переменных, потому что оптимальную область ищут в пространстве двух переменных.

Практикой применения оптимизации формовочных и стержневых смесей данным методом показана его эффективность на ряде заводов, где получен значительный экономический эффект от внедрения составов формовочных и стержневых смесей, разработанных данным методом.

При решении производственных задач оптимизации формовочных и стержневых смесей необходимо разработать и математические модели для конкретных условий приготовления смесей с экспериментами на производственных бегунах для приготовления смеси. Кроме того, математическая модель свойств формовочной смеси должна периодически уточняться ввиду колебаний состава и свойств исходных материалов, в особенности глины. Другими словами, зона оптимума все время

самопроизвольно смещается или дрейфует, и необходимо следить за этим дрейфом.

Одним из способов повышения свойств смесей является добавления в формовочные смеси базальтового волокна, которое в Узбекистане разрабатывается в Навоинском регионе и других местах.

Производство базальтовых волокон основано на получении расплава **базальта** в плавильных печах и его свободном вытекании через специальные устройства, изготовленные из платины или жаростойких металлов. Плавильные печи могут быть электрическими, газовыми или оборудоваться мазутными горелками. В качестве сырья для производства базальтовых волокон используются базальтовые горные породы, средний химический состав которых следующий (% по массе): SiO₂ (47,5-55,0); TiO₂ (1,36-2,0); Al₂O₃ (14,0-20,0); Fe₂O₃ + FeO (5,38-13,5); MnO (0,25-0,5); MgO (3,0-8,5); CaO (7-11,0); Na₂O (2,7-7,5); K₂O (2,5-7,5); P₂O₅ (не более 0,5); SO₃ (не более 0,5); прочие породы (не более 5).

Виды

Существует два основных типа базальтового волокна — штапельное и непрерывное. Одним из наиболее важных параметров штапельного базальтового волокна является диаметр отдельных **волокон**. В зависимости от диаметра волокна делят на: микротонкие, диаметром менее 0,6 мкм; ультратонкие, 0,6 — 1,0 мкм; супертонкие, 1,0 — 3,0 мкм; тонкие, 9 — 15 мкм; утолщённые, 15 — 25 мкм и грубые — диаметром 50 — 500 мкм. Диаметр волокон существенно влияет на важнейшие свойства изделий из него: теплопроводность, звукопоглощение, плотность и др.

В зависимости от диаметра волокно используется для различных целей:

микротонкое — для фильтров очень тонкой очистки газовой среды и жидкостей; изготовления тонкой бумаги и специальных изделий;

ультратонкое — для изготовления сверхлёгких теплоизоляционных и звукопоглощающих изделий, бумаги, фильтров тонкой очистки газовоздушных и жидкостных сред;[13]

супертонкое — для изготовления прошивных теплозвукоизоляционных матов и звукопоглощающих (БЗМ, АТМ) изделий, картона (ТК-1, ТК-4), многослойного нетканого материала, теплоизоляционного вязально-прошивного материала, длинномерных теплоизоляционных полос и жгутов (БТШ-8, БТШ-20, БТШ30), мягких теплоизоляционных гидрофобизированных плит, фильтров и др. Специальная термическая обработка базальтовых супертонких волокон позволяет получить микрокристаллический материал со свойствами, отличающимися от обычных волокон. Микрокристаллические волокна превосходят обычные по температуре применения на 200°С, по кислотостойкости — в 2,5 раза, а гигроскопичность их в 2 раза ниже. Основным преимуществом этого вида базальтового волокна является отсутствие усадки при его эксплуатации. Из микрокристаллического волокна изготавливают высокотемпературоустойчивые теплоизоляционные материалы, плиты, а также фильтры для фильтрации агрессивных сред при высоких температурах. Базальтовое супертонкое волокно (БСТВ) получают двумя методами: дуплекс процесс, когда первоначально вытягиваются из расплава базальта через фильеры первичные волокна диаметром 250—350 мкм, которые впоследствии раздуваются высокоскоростным газовым потоком при температуре выше 1600°С в супертонкие. Второй способ — это раздув сжатым воздухом струи расплава, при этом температура расплава должна быть не менее 1500°С. Вторым способом получается БТВ с более коротким волокном и менее технологичным, из него невозможно производить весь ассортимент продукции.

тонкие волокна из горных пород представляют собой слой беспорядочно расположенных волокон диаметром 9-15 мкм и длиной 3-1500 мм.

утолщённые волокна диаметром 15-25 мкм и длиной 5-1500 мм. Получают их как методом вертикального раздува струи расплава воздухом (ВРВ), так и центробежно-валковым методом; известно одно производство получения грубого волокна центробежно-дутьевым способом. Вырабатывают в виде холстов, прошивных матов, плит на основе различных вяжущих. Утолщённые волокна находят широкое применение в качестве фильтровальной основы дренажных систем гидротехнических сооружений;

толстые волокна представляют собой беспорядочно расположенные волокна длиной 5-3000 мм, диаметром 25-150 мкм, прочностью на разрыв 120—650 МПа.

грубые волокна представляют собой относительно сыпучую дисперсно-волокнистую массу с длиной волокон 3-15 мм, диаметром 150—500 мкм, прочностью на разрыв 200—350 МПа, удельной поверхностью 28-280 см²/г. Волокна являются коррозионно-стойкими и могут быть использованы взамен металла для армирования материалов на основе вяжущих.

теплозвукоизоляция и огнезащита в жилых и промышленных зданиях и сооружениях, банях, саунах, бытовках и т. д.;

теплоизоляция энергетических агрегатов, трубопроводов большого диаметра;

теплоизоляция бытовых газовых и электрических плит, жарочных шкафов и т. д.

утепление реконструируемых зданий с установкой как изнутри, так и снаружи;

утепление плоских крыш;

изоляция кислородных колонн;

изоляция низкотемпературного оборудования при производстве и использовании азота;

в промышленных холодильниках и холодильных камерах, бытовых холодильниках;

в трёхслойных строительных панелях-сэндвичах;

Применение в промышленности

Немецкое инженерное бюро EDAG разработало **концепт** автомобиля, при производстве которого использовано базальтовое волокно. Как сообщается, «материал отличается лёгкостью, прочностью и экологичностью, к тому же в производстве он обойдётся дешевле алюминия или углепластика»

Усиление железобетонных конструкций базальтовым волокном обойдётся дешевле углепластика, первые испытания проведены НИИ ВСУ «ИНТЕР/ТЭК» в **Екатеринбурге** на базе института «УралНИАС».

Материалы на основе базальтового волокна обладают следующими важными свойствами: пористость, температуростойкость, паропроницаемость и химическая стойкость.

Пористость базальтового волокна может составлять 70 % по объёму и более. Если поры материала заполнены воздухом, то при такой пористости он характеризуется небольшой теплопроводностью.

Температуростойкость является весьма важным свойством теплоизоляционных материалов, особенно при использовании их для изоляции промышленного оборудования, работающего при высоких температурах. Температуростойкость материалов характеризуют технической температурой применения, при которой материал может эксплуатироваться без изменения технических свойств.

Паропроницаемость — это способность материала пропускать через свои поры водяной пар. При наличии в материалах из базальтового волокна сообщающихся пор, они пропускают такое же количество пара,

как и воздуха. Благодаря большой паропроницаемости эти материалы при эксплуатации почти всегда сухие; конденсация пара наблюдается в основном в следующем слое, на более холодной стороне ограждений.

Химическая стойкость. Базальтовые волокна обладают хорошей стойкостью к действию органических веществ (масло, растворители и др.), а также к воздействию щелочей и кислот.

Благодаря этим свойствам, базальтовое волокно и материалы на его основе находятся, сегодня все более широкое применение для целей литейного производства.

В наших экспериментах базальтовое волокно добавлялось в формовочные смеси для повышения прочности смесей.

Базальтовое волокно добавлялось в количестве 0,5%, 1%, 1,5% и 2% от общей массы смеси.

Волокно добавлялось в бегуны после загрузки в бегуны наполнителя-кварцового песка, каолиновой глины, затем смесь перемешивается в бегунах 6-8 минут, затем добавлялось базальтовое волокно.

Смесь снова перемешиваем 4 минуты и добавляем воду в количестве 3-4% от массы смеси в бегунах, т.е. от 5 кг смеси примерно 200-220 мл воды и перемешиваем 3-4 минуты. После этого из смеси изготавливаем цилиндрические образцы 50x50 мм и проверяем на приборе на механическую прочность.

Прочность песчано-глинистых смесей составляет 0,5-0,6 кг/см².

При добавлении 0,5% базальтового волокна прочность составит 1,1 кг/см².

При добавлении 1% базальтового волокна прочность смеси составит 1,4 кг/см², при добавлении 1,5% базальтового волокна, прочность смеси составит 1,8-2,0 кг/см². При эксперименте по добавлению 2% базальтового волокна, прочность составила 2 кг/см².

Эксперименты показали, что оптимальный вариант прибавления базальтового волокна примерно 1,5%, т.ж. экономически целесообразно.

Базальтовое волокно

Химический состав стекол и горных пород для получения непрерывного волокна

Базальты

основные каменные породы вулканического происхождения.

Они практически повсеместно распространены в земной коре.

Минеральный состав горных пород зависит от химического состава магмы и условий ее кристаллизации.

Характеристики основных минералов, которые входят в состав горных пород, используемых в настоящее время для производства базальтовых непрерывных волокон, следующие:

Оливин, структурная формула минерала $(\text{Mg, Fe})_2[\text{SiO}_4]$, катионы Mg^{+2} и Fe^{+2} изоморфно замещают друг друга. Температура плавления падает (1205 °C Fe_2SiO_4 , фаялит) с увеличением содержания FeO в оливине.

Кристаллическая решетка форстерита

Mg_2SiO_4 является типичным представителем островных структур, изолированных итетраэдрами $[\text{SiO}_4]$. Кроме группы $[\text{SiO}_4]^{4-}$ в щелочных силикатах присутствуют анионы $[\text{AlO}_4]^{5-}$.

Пироксен, структурная формула – $\text{R}_x[\text{Si}_2\text{O}_6]$, где R – Mg, Fe, Ca, Al, Na. Анион представляется следующей формулой – $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$. Возможно изоморфное замещение кремния на алюминий, с образованием $[\text{AlO}_4]^{5-}$.

Пироксены в базальтовых породах обычно представлены следующими минералами: авгит – $\text{Ca}(\text{Mg, Fe, Al})[(\text{Si, Al})_2\text{O}_6]$, энстатит – $\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, гиперстен – $(\text{Fe, Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Температура плавления пироксенов колеблется в пределах 1540-1550°С в составах богатых $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$, до 1300-1315°С в составах с высоким содержанием $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

Плагиоклазы представляют собой изоморфный ряд альбита и анортита. Альбит - $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, температура плавления – 1100-1250 °С.; анортит – $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, температура плавления – 1550 °С. Альбит и анортит являются конечными соединениями ряда плагиоклазов, образующих непрерывный ряд твердых растворов.

Структура решетки состоит из тетраэдров $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и $[\text{AlO}_4]^{5-}$ скатионами кальция и натрия в промежутках. Тетраэдры $[\text{AlO}_4]^{5-}$ способны образовывать полимеризованные структуры только совместно с тетраэдрами $[\text{SiO}_4]^{4-}$, причём малоокислородные тетраэдры в этих структурах являются слабыми звеньями.

Волокна, полученные из природного минерала и искусственной смеси того же состава, демонстрируют разные физико-механические свойства. Возможно, при плавлении базальта образуется жидкость с расположением частиц близким исходному кристаллическому образцу, которое сохраняется при образовании стекловолокна.

Условия получения базальтовых непрерывных волокон

Условия получения базальтовых непрерывных волокон напрямую зависят от вязкости.

В достаточной степени они исследованы в основном для украинских месторождений базальтов.

Составы этих пород температурные интервалы получения волокон различных месторождений Украины представлены в таблице 3. Интервал вязкости, в котором возможно получение волокна, составляет 15.8 - 63 Па·с.

Повышенная способность к кристаллизации базальтовых волокон при высоких температурах влияет на нижний предел температурного интервала получения волокон. Если склонность стекла к кристаллизации большая, процесс приходится вести при более высокой температуре, чем температура, которая отвечает необходимой вязкости.

Последнее приводит к возникновению дополнительных технических трудностей, например, затеканию фильерного поля.

По мере увеличения температуры базальтового расплава его вязкость понижается и может достигнуть столь малых значений, при которых силы поверхностного натяжения способствуют обрыву непрерывного волокна и образованию капель.

При низкой вязкости легче происходит затекание стекломассы на фильерную пластину, что усложняет образование волокон.

Температура затекания определяется поверхностным натяжением расплава базальта на платиновой пластине при данной температуре.

В нижней части рабочего интервала вязкости стеклотечет более свободно, и соотношение вязкости и поверхностного натяжения стекломассы становится неопределенным, что приводит к пульсирующему характеру истечения стекломассы.

Механические свойства стеклянных и базальтовых непрерывных волокон

Механические свойства стеклянных и базальтовых волокон во многом определяют возможности их применения в качестве наполнителя для композитных материалов.

Влияние отдельных компонентов на механические свойства изучено недостаточно.

Заключение

1. Песчано-глинистые смеси наиболее распространенный способ изготовления литейных форм и повышение их механической прочности, задача актуальная.
2. В экспериментах производилось добавление базальтовых волокна. В количестве 0,5%, 1%, 1,5%, 2%.
3. Базальтовые волокна добавлялись в бегуны после перемешивания песчано-глинистой смеси с перед добавлением воды.
4. Эксперименты показали, что наиболее оптимальным является прибавление базальтовых волокна в количестве 1,5%, при котором прочность песчано-глинистой смеси достигло 2кг/см^2 , что приемливо для формовочных смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология литейного производства, Технология литейной формы, учебник под ред А.П Трухова, М. Академия, 2005 г
2. С.С Жуковский, А.М Лясс Формы и стержни из холодно твердеющих смесей М. Маш. 1988 г, 222 с
3. А.А Бречко, Г.Ф. Великанов Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами, 1992, Л-д, 215 с.
4. Боровский Ф.Ф, Шацких М.И, Формовочные и стержневые смеси, Маш. 1989, 85 с.
5. Кумакин И.С Литейные производства, М. Маш 1986 г, 401 с
6. Берг П.П Формовочные пески, 1973, М. Маш, 391 с.
7. Я.И Медведев, И.В Валисовский Технологическая использования формовочных материалов, М. Маш, 1973, 310 с.
8. Васин В.С Газопроницаемость формовочных смесей, М. Маш, 1978, 86 с.
9. Казин А.В Теория и технология литейных форм. Санкт-Петербург, 1995 г, 75 с.
10. М.Н Васненко Приготовление формовочных и стержневых смесей М, Высшая школа 1993 г, 255 с.
11. С.Г Пелых, М.П Семесенко Оптимизация литейных процессов Киев, Высшая школа, 1972 г, 193 с.
12. Базальтовые волокно, НГМК, 2004 г, 22 с
13. Стекловолокнистые материалы, материаловедение МГПУ имени Баумана М, 2001 г, 647 с.
14. Д.В Киреченко и другие Улучшение поверхности отливок применение стеклокерамических покрытий форм, специальные способы литья изд. Маш. Л., 1991 г, 266 с.